

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERAS AMBIENTALES

TEMA:

**DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO PARA EL ESTUDIO DE LA
CALIDAD DE AGUA DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI**

AUTORAS:

JESSICA KARINA CARVAJAL MEJÍA

MARÍA JOSÉ OLIVES CÓRDOVA

TUTOR:

EDWIN RODRIGO ARIAS ALTAMIRANO

Quito, Junio del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras Jessica Karina Carvajal Mejía, con documento de identificación N° 1718862608 y María José Olives Córdova con documento de identificación N° 1315619609, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de titulación intitulado: **“DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieras Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado por la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....

Nombre: Jessica Karina Carvajal Mejía
Cédula: 1718862608
Fecha: junio 2019

.....

Nombre: María José Olives Córdova
Cédula: 1315619609
Fecha: junio 2019

DECLARATORIA DE CO-AUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de investigación, **DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI** realizado por: Jessica Karina Carvajal Mejía y María José Olives Córdova, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, junio 2019



.....
Edwin Rodrigo Arias Altamirano

1710165869

DEDICATORIA

María José

Este trabajo realizado con mucha dedicación y esfuerzo quiero dedicarlo en primer lugar a Dios por darme la fortaleza en momentos difíciles de mi vida y enseñarme que con fe y perseverancia todo se puede lograr.

A mis padres amados Cecilia y Richard (desde el cielo), por el apoyo, cariño, enseñanzas y ejemplos que me inculcaron cada día para ser la persona que soy hoy, quiero que sepan que este logro es PARA USTEDES, siempre los llevo en mi mente y corazón, a ti padre amado que, aunque no te vea, siempre te he sentido presente, desde el cielo espero estés orgulloso de mí, los amo mucho ♥.

A mi tía amada Rogelia, por ese apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, que me permitió hacer este sueño realidad, sepa que este logro es POR Y PARA USTED, muchas gracias por permitirme salir adelante y siempre confiar en mí, sin usted esto no hubiese sido posible, espero Dios me regale muchos años de vida junto a usted para agradecerle todo lo que hace por nosotros.

A mis hermanos Nicolle y Richard Daniel, por ser la razón de mis alegrías, es por ustedes que salgo adelante día a día para que cuentan con mi apoyo siempre.

A ti, mi amor Juan, gracias por ese apoyo incondicional que me brindaste sin pensarlo 2 veces durante este camino universitario, gracias por regalarme 5 años de felicidad, espero sean muchos más, pero sobre todo muchas gracias por siempre confiar en mí y nunca dejarme desfallecer en momentos difíciles. Te amo mucho ♥

A mis demás familiares como mis tíos Eli y Pacífico que me brindaron un lugar en su hogar, tía Gaby gracias por ser ese apoyo incondicional para nosotros y por siempre estar presente, primas Juliana y Maite gracias por brindarme su apoyo y por regalarme a unos sobrinos tan bellos como son: Paulina, Mía, Camila, Maía y Enzo, espero algún día puedan leer esto y sepan que los amo mucho, que son la luz de mis ojos y que me llenan el corazón de ternura y alegría con cada ocurrencia.

Jessica

Esta tesis está dedicada a:

A la Virgen de Guadalupe y a Dios quienes han sido mi fortaleza en momentos difíciles y angustiosos de mi vida, en donde daba por pérdida mi fe, aclarándome el camino a seguir y enseñarme a ver que no todo estaba por perdido.

A mis queridos padres, ya que todo este trabajo y el tener una carrera universitaria ha sido gracias a ustedes. Los amo con todo mi corazón. Espero algún día estén orgullosos de mí pese a mis fallas como hija. A mi padre Edison por brindarme su apoyo económico para el pago de mis estudios. A mi madre Nancy quien ha estado presente en los momentos más difíciles de mi vida, quien nunca me abandono, me defendió, me cuido pese a todo, y me enseñó a ser madre, es mi ejemplo de mujer a seguir, ya que trabaja muy duro cada día para poder seguir apoyándonos a mi hermano y a mí, es la mejor abuela que mi hijo puede tener y la mejor madre que dios me pudo dar.

A mi pequeño hijo Alessandro Leonel –este título es por ti y para ti- sé que en unos años lo podrás leer y estarás orgulloso. Eres lo más bonito que poseo. Fuiste, eres, y serás mi motor para seguir adelante y mi lucha constante para brindarte un buen futuro, pese a todas las dificultades que hemos atravesado, un día vamos a lograr todo lo que juntos soñamos. Te amo hijo mío.

A mi único hermano Ariel, tranquilo no me olvide de ti, quien ha sido el niño de Leo, durante estos años, quien pese a las peleas, enojos y rivalidades que tenemos, fue muy importante en mi vida universitaria, ya que me brindo su ayuda pese a ser un niño aun, cuidando de mi hijo mientras yo asistía a la universidad. Esas cosas no se olvidan, recuerda que eres especial para mí.

A mi tío querido, Franklin, quien, a pesar de la distancia, ha sido mi mayor apoyo durante estos años universitarios, cuando me encontraba en apuros, él y yo sabemos de qué hablo, siempre me ha brindado su ayuda y nunca he recibido un no por respuesta. Lo quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

A la Universidad Politécnica Salesiana por brindarnos su apoyo para la realización del presente trabajo y por formarnos como profesionales.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental por sus enseñanzas y exigencias académicas que nos harán ser buenas profesionales.

A nuestro tutor Edwin Arias por el apoyo incondicional para la realización de este trabajo y por siempre estar presente.

Al Ingeniero Jorge Sandoval, personal de la UPS Cayambe por la gestión, ayuda y apoyo para la realización del trabajo.

A la comunidad de Pesillo, en especial a la Sra. Gobernadora Graciela Alba por permitirnos realizar este trabajo, a los Sres. Colaboradores Carlos, Patricio, Paul, Gustavo, Isaías, Stalin y David por ser nuestro soporte durante toda la fase de campo, muchas gracias por su apoyo, por los momentos compartidos y por las experiencias vividas.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos:.....	5
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1. Marco Legal del Agua en el Ecuador	6
3.1.1. Constitución Política de la República del Ecuador.....	6
3.1.2. Texto Unificado de Legislación Secundario del Ministerio de Ambiente.	7
3.1.3. Ley de Aguas	11
3.1.4. Norma técnica ecuatoriana. NTE INEN 1 108:2011.	12
3.2. Calidad de agua.....	13
3.3. Topografía	14
3.3.1. División de la topografía.....	15
3.4. Levantamiento topográfico	16
3.4.1. Replanteo	17
3.4.2. Clase de levantamiento usado en el estudio	17
3.4.3. Tipo de levantamiento topográfico	17
3.5. Equipos Topográficos	18
3.5.1. Estación total	18
3.5.2. Sistema de posicionamiento por satélite.....	18
3.6. Descripción del área de estudio.....	20
3.7. Puntos de muestreo	22
3.7.1. Muestreo de agua	23
3.7.2. Representatividad de la muestra	23
3.7.3. Tipo de muestra.....	24
3.7.4. Clase de muestreo.....	24
3.8. Parámetros analizados.....	24
3.8.1. Parámetros físico-químicos	25
3.8.2. Parámetros microbiológicos.....	28
4. MATERIALES Y MÉTODOS	30
4.1. Materiales	30
4.2. Métodos.....	31

4.2.1. Ubicación	31
4.2.2. Tipo de muestra.....	32
4.2.3. Toma de muestra.....	32
4.2.4. Preservación de las Muestras.....	34
4.2.5. Medición y análisis de las muestras.....	37
4.2.6. Medición de parámetros in situ	38
4.2.7. Medición de parámetros en laboratorio.....	38
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
5.1. Resultados.....	50
5.1.1. pH y Temperatura	50
5.1.2. DBO ₅ , DQO y Coliformes fecales	53
5.1.3. Turbidez, Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto y Sólidos totales.....	58
5.2. Discusión	63
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
6.1. Conclusiones	66
6.2. Recomendaciones	67
7. BIBLIOGRAFÍA.....	69
8. ANEXOS	74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Utilización de un GPS diferencial para levantamiento topográfico de la acequia Pumamaqui, en la zona despejada de vegetación.....	19
Ilustración 2. Utilización de la Estación Total para levantamiento topográfico de la acequia Pumamaqui, en la zona cubierta por vegetación.....	20
Ilustración 3. Ubicación geográfica de la comunidad de Pesillo.....	21
Ilustración 4. Ubicación geográfica de los 16 puntos de muestreo de la acequia Pumamaqui. .	32
Ilustración 5. Toma de muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Zona de captación, Rio La Chimba. PUNTO DE MUESTREO: M001.	34
Ilustración 6. Toma de muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: M008.....	35
Ilustración 7. Toma de muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: M013.....	35
Ilustración 8. Toma de muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: M014.....	36
Ilustración 9. Toma de muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: M015.....	36
Ilustración 10. Toma de muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: M016.....	37

Ilustración 11. Cúmulos de tierra mezclado con estiércol del ganado vacuno.	47
Ilustración 12. Personas lavando ropa a la orilla de la Acequia.	47
Ilustración 13. Desfogue de agua.	48
Ilustración 14. Presencia de ganado porcino y excremento a las orillas de la Acequia.....	48
Ilustración 15. Hallazgo de excremento de ganado vacuno y equino a las orillas y al interior de la Acequia.	49
Ilustración 16. Presencia de ganado equino al interior de la Acequia.	49
Ilustración 17. Presencia de ganado vacuno al interior de la Acequia.	50
Ilustración 18. Comportamiento del pH a lo largo de la Acequia.	52
Ilustración 19. Puntos críticos de DBO5 que sobrepasan la norma vigente a lo largo de la acequia Pumamaqui.	54
Ilustración 20. Comportamiento de los Coliformes fecales a lo largo de la Acequia, Tramo 1.	56
Ilustración 21. Comportamiento de los Coliformes fecales a lo largo de la Acequia, Tramo 2.	57
Ilustración 22. Puntos críticos de Coliformes Fecales que sobrepasan la norma vigente a lo largo de la acequia Pumamaqui.	58
Ilustración 23. Comportamiento de la turbidez en la Acequia.	60
Ilustración 24. Comportamiento de los Sólidos Totales a lo largo de la Acequia Pumamaqui.	61
Ilustración 25. Puntos críticos de Sólidos Totales que sobrepasan la norma vigente a lo largo de la acequia Pumamaqui.	62
Ilustración 26. Puntos críticos de Oxígeno Disuelto que sobrepasan la norma vigente a lo largo de la acequia Pumamaqui.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de calidad de agua para riego agrícola.	8
Tabla 2. Criterios de calidad de agua para consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.	9
Tabla 3. Materiales requeridos para la elaboración del presente trabajo.	30
Tabla 4. Parámetros analizados.....	37
Tabla 5. Métodos utilizados para análisis de calidad de agua.....	39
Tabla 6. Localización geográfica de los puntos de muestreo en coordenadas UTM.	42
Tabla 7. Resultados de pH y Temperatura in situ.	51
Tabla 8. Resultados de los parámetros analizados en Laboratorios OSP.....	53
Tabla 9. Resultados de parámetros analizados en el laboratorio de la UPS Quito.....	59
Tabla 10. Áreas por cultivo en Pesillo.	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla general de resultados obtenidos.	74
Anexo 2. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui de los puntos de muestreo del M001 al M007.	75
Anexo 3. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui de los puntos de muestreo del M008 al M009.	76
Anexo 4. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui del punto de muestreo M010.	77
Anexo 5. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui.	78
Anexo 6. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui de los puntos de muestreo del M011 al M012.	79
Anexo 7. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui del punto de muestreo M013.	80
Anexo 8. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui.	81
Anexo 9. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui del punto de muestreo M014.	82
Anexo 10. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui.	83
Anexo 11. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui del punto de muestreo M015.	84
Anexo 12. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui.	85
Anexo 13. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui del punto de muestreo M016.	86
Anexo 14. Esquema General de la Acequia Pumamaqui.	87
Anexo 15. Mapa de identificación de puntos críticos que sobrepasan los límites máximos permisibles de calidad de agua de la acequia Pumamaqui.	88
Anexo 16. Mapa de identificación de los puntos críticos de Coliformes Fecales en la acequia Pumamaqui.	89
Anexo 17. Mapa de identificación de los puntos críticos de DBO5 en la acequia Pumamaqui. .	90

Anexo 18. Mapa de identificación de los puntos críticos de Oxígeno Disuelto en la acequia Pumamaqui.	91
Anexo 19. Mapa de identificación de los puntos críticos de Sólidos Totales en la acequia Pumamaqui.	92

RESUMEN

La presente tesis tuvo como fin la determinación de puntos de muestreo mediante un levantamiento topográfico y la realización del análisis de calidad de agua de la Acequia Pumamaqui, la cual cuenta con una extensión aproximada de 12 km, y se encuentra ubicada en la comunidad de Pesillo, cantón Cayambe de la provincia de Pichincha.

Durante el recorrido se encontraron puntos críticos para su análisis, que nos permitió identificar 16 puntos de estudio importantes, partiendo desde la captación en el Rio La Chimba hasta el límite con la provincia de Imbabura. La toma de muestras de agua se llevó a cabo en enero de 2019, se analizaron parámetros físico-químicos mismos que fueron pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos totales, La DBO₅ y DQO, y un análisis microbiológico de coliformes fecales.

Una vez obtenidos los resultados en el laboratorio se procedió a la interpretación de los datos, los cuales afirmaron que la acequia Pumamaqui es apta para uso exclusivo a nivel agrícola o de riego en ciertos tramos, y no es apta para consumo humano y uso doméstico debido a la alta presencia de coliformes fecales.

La DBO y el Oxígeno Disuelto sobrepasan la norma, confirmando que la acequia tiene un grado de contaminación de tipo orgánico. De la misma manera se encuentran alterados los valores de Sólidos Totales. Estos parámetros fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en El LIBRO VI ANEXO I. “Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua” del TULSMA.

ABSTRACT

The objective of our Grade Work is to take sample points through the topographic research and make water Quality Analysis of the Pumamaqui irrigation channel that has an extension about 12 Km, and it is located in the Pesillo community, Cayambe City, Pichincha Province.

During our research through the channel, we found critical points to analyze; it gave us 16 important sites to study, starting from La Chimba River to the Imbabura Province limits. The water samples were taken by January 2019, and they were analyzed with Physic and Chemical parameters like PH, temperature, turbidity, dissolved oxygen, electrical conductivity, all solids, Biochemical Oxygen demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD), and a fecal coliforms microbiological analysis.

Once we obtained the laboratory results, we proceeded with the data interpretation, were we were able to confirm that the Pumamaqui irrigation channel is not good for human consume and it could only be used for agriculture environments or for short sites irrigation due the high level of fecal coliforms in the water.

The BOD and the dissolved oxygen surpass the standard, and it confirms that the water channel has an organic contamination level. In addition, the solid's value are in high levels. We compared these results with the maximum levels permitted established in the TULSMA's Environmental Quality and Effluent Discharge Standard: Water Resource BOOK VI APPENDIX 1.

Siglas y Abreviaturas

°C	Grado centígrado.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
CE	Conductividad Eléctrica
CM	Centímetro
DQO	Demanda Química de Oxígeno
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
L	Litro
MAE	Ministerio del Ambiente
MG	Miligramos
ML	Mililitros.
MS	MicroSiemens
NMP	Número Más Probable
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
O₂	Oxígeno
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
SDT	Sólidos Disueltos Totales
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundario del Ministerio de Ambiente

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo la disponibilidad de los recursos hídricos para el consumo humano y para el sistema económico se encuentra en un estado de zozobra, puesto que conforme avanza el tiempo la población aumenta, y por ende también la contaminación del agua, causando así la disminución de disponibilidad de agua limpia, usada para consumo humano y para el equilibrio del medio ambiente, ante esto es necesario plantear medidas preventivas y prontas (Gleason, 2014).

El agua cubre el 70 % de la superficie del mundo, sin embargo, a pesar de esto disponemos del 2.5 % de agua dulce, mientras que el 97.5 % es agua salada. Alrededor del 70 % del agua dulce se encuentra congelada en los glaciares, y una gran parte del agua restante se presenta como humedad en el suelo, o existe en profundas capas acuíferas subterráneas impenetrables (Gleason, 2014).

En el Ecuador, el regular el recurso hídrico es una tarea prioritaria que debería realizarse en todo el territorio con el propósito de enseñar a racionalizar su conservación y mejorar su aprovechamiento. La Secretaría Nacional del Agua, es la única autoridad del agua y el organismo encargado de la administración del recurso (SECRETARIA DEL AGUA, 2011).

Como se indica en la Constitución Del Ecuador (2008) el agua se estima patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos, es por ello que se regulará y sancionará a quienes atenten contra este derecho.

En el Ecuador existen sectores en los que el agua subterránea es el único recurso asequible para suministrar a la población o a su vez para riego de cultivos como es el caso de la comunidad de Pesillo en donde se realizó la presente investigación, por lo que se convierte en el recurso exclusivo para una alimentación saludable y segura, a su vez de carácter vital para el funcionamiento de los ecosistemas (SECRETARIA DEL AGUA, 2011).

De acuerdo con la base de datos de la SENAGUA, el uso del recurso hídrico que predomina en el país es para la actividad agrícola, ya que representa el 80% del caudal utilizado, seguido por el uso doméstico con el 13% y la industria 7% siendo esta última la que más contaminación causa (SECRETARIA DEL AGUA, 2011).

Al día un ecuatoriano gasta, en promedio, 249 litros de agua. Esta cifra es mayor a los 100 litros recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para satisfacer las necesidades de consumo e higiene y un 40% más que el promedio de la región (Alárcon , 2018). Este consumo excesivo de los recursos naturales y la contaminación de las principales fuentes de agua son varios de los factores que están poniendo en peligro a los recursos hídricos en el mundo (Alárcon , 2018).

El agua es un recurso natural limitado, por lo tanto, se debe prestar mayor atención a su calidad, la cual debe ser protegida, defendida, gestionada y tratada como el recurso vital de mayor importancia (Interconsulting Bureau S.L., 2017). La calidad influye mucho en los usos del agua de ríos, acequias, lagos, entre otras fuentes de agua superficiales o subterráneas (Interconsulting Bureau S.L., 2017).

El estudio de calidad de agua controla la contaminación de origen humano o animal, de tal forma que se asegure que un agua es adecuada para el uso destinado, tanto para consumo humano o para el uso en agricultura, riego o simplemente como abrevaderos para animales. Para lo cual se debe conocer cuánto desecho un cuerpo de agua puede depurar naturalmente (Gleason, 2014).

La composición química natural del agua se ve alterada por actividades humanas principales las cuales son la agricultura y ganadería. Los recursos hídricos contaminados poseen distintos compuestos, los cuales varían según su origen, como es el caso de la acequia Pumamaqui, en donde se encuentra la presencia de materia orgánica, ocasionando el deterioro de la calidad del agua, generando efectos negativos, como la transformación de los ecosistemas y riesgos para la salud (Jiménez, y otros, 2010).

Cuando hablamos de calidad de agua es indispensable determinar una serie de parámetros físico-químicos mediante métodos normalizados, con el fin de conocer si el valor de los parámetros obtenidos se encuentran dentro del intervalo que marca la legislación vigente ecuatoriana (TULSMA) (Interconsulting Bureau S.L., 2017).

En la comunidad de Pesillo el abastecimiento de agua tanto para consumo humano y de riego está a cargo de las Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP) y de riego. En Pesillo la JAAP abastece de agua para consumo humano a todos los sectores a través de las concesiones de las fuentes de agua ubicadas en la misma comunidad (Laboratorio SIG, 2018).

En Pesillo existe una gran producción agrícola con una superficie de 2.140,80 ha, en su mayoría predomina el pasto con una superficie total de 1.576,01 ha, aunque también

el 74% es pasto no mejorado (kikuyo), se puede distinguir el cultivo de cebada, papas, trigo, cebolla y habas, conformando así una de las actividades económicas principales dentro de la comunidad, ubicándose en primer lugar la producción pecuaria la cual se dedica a la crianza de los animales especialmente la especie bovina para producción de leche, que se da en las fincas que tienen mayor superficie, mientras que los predios con menor superficie se observa la crianza de animales menores (Laboratorio SIG, 2018).

Debido a esto los moradores de la Comunidad de Pesillo para las actividades agrícolas y pecuarias, captan un caudal de agua alrededor de 205 l/s, donde inicia la acequia Pumamaqui en el Rio La Chimba y recorre un trayecto de 12 km de los cuales 11.69 km se encuentran formados de tierra, 0,17 km se encuentran revestido con hormigón y 0,13 km la acequia transcurre por 4 túneles de tierra contruidos por gente de la comunidad en años anteriores, esta acequia atraviesa las áreas productivas de la comunidad y desembocando finalmente en la Provincia de Imbabura donde también hay regantes que son usuarios de esta acequia (Laboratorio SIG, 2018).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Realizar el estudio de calidad del agua para la Acequia Pumamaqui a través de la determinación de puntos de muestreo.

2.2. Objetivos específicos:

- Realizar el levantamiento topográfico de la Acequia Pumamaqui.
- Obtener los puntos de muestreo en base a normativa para estudios de calidad de agua.
- Obtener planos topográficos de la acequia con puntos de muestreo establecidos según normativa específica para levantamientos topográficos.
- Realizar el estudio de calidad de agua de la acequia Pumamaqui.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Marco Legal del Agua en el Ecuador

“En el Ecuador el recurso hídrico está amparado bajo leyes, reglamentos y normas que protegen el agua, con el fin de asegurar la sostenibilidad, protección, utilización y bienestar social” (Chamba & Guallasamin, 2015).

3.1.1. Constitución Política de la República del Ecuador.

“La Constitución es la norma jurídica primordial del Estado, está dirigida a garantizar y consagrar los derechos de los ciudadanos de manera general, los que a su vez son desarrollados a través de la legislación secundaria como leyes orgánicas y ordinarias, reglamentos, ordenanzas, decretos, entre los más principales” (Constitución de la República del Ecuador, 2008). La constitución establece que el agua es patrimonio nacional de uso público.

Art. 14.- “La población tiene derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

“Se declara de interés público la preservación del ambiente y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

La sección sexta “Agua” del capítulo segundo “Biodiversidad y recursos naturales” del título VII “Régimen del Buen Vivir”, señala que “el estado es el responsable de asegurar la conservación, recuperación y manejo adecuado de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos” (Constitución de la República del Ecuador,

2008). “Además de regular las actividades en las que se puedan ver afectadas tanto la calidad como la disponibilidad del agua y afectar el equilibrio de los ecosistemas en los que se alberguen fuentes y zonas de descargas de agua” (Constitución de la República del Ecuador, 2008). De igual manera prioriza la sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano de agua, mediante el uso y aprovechamiento siendo de carácter prioritario” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

3.1.2. Texto Unificado de Legislación Secundario del Ministerio de Ambiente.

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) “Es la norma técnica ambiental dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional” (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2015).

El Libro VI Anexo I “Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua”, establece los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos y las normas generales de descarga de efluentes, para nuestro estudio al ser agua de riego y en ciertas ocasiones usado para consumo humano, la normativa mencionada presenta en las tablas 1 y 2 los criterios de calidad que se deberán cumplir para que este recurso sea apto tanto para riego como para consumo humano (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2015).

Tabla 1. Criterios de calidad de agua para uso agrícola o riego.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbomatos totales	Concentración total de carbomatos	mg/l	0,1
Cianuro	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2
Coliformes fecales	NMP	mg/l	1000
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos		Huevos/l	Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
Plata	Ag	mg/l	0,05
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Solidos disueltos totales		mg/l	3000

Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1
Zinc	Zn	mg/l	2,0

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

Tabla 2. Criterios de calidad para aguas que requieran únicamente desinfección.

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio total	Al	mg/l	0,1
Amoniaco	N-amoniacal	mg/l	1
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,001
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,01
Cobalto	Co	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1
Color	color real	Unidades de color	20
Coliformes Totales	nmp/100 ml		50*
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	250
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,05
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500
Estaño	Sn	mg/l	2
Fluoruros	F	mg/l	Menor a 1,4
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,3
Litio	Li	mg/l	2,5
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia Flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,025

Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1
Olor y sabor			Ausencia
Oxígeno disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de Hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sulfatos	SO =	mg/l	250
Sólidos disueltos totales		mg/l	500
Temperatura	°C		Condición natural +/-3 grados 0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	10
Uranio Total		mg/l	0,02
Vanadio	V	mg/l	0,1
Zinc	Zn	mg/l	5
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C ₆ H ₆	mg/l	0,01
Benzo-a- pireno		mg/l	0,00001
Pesticidas y Herbicidas			
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados y carbomatos	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Toxafeno		mg/l	0,01
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		mg/l	0,003
Dicloroetano (1,2-)		mg/l	0,01
Tricloroetano (1,1,1-)		mg/l	0,3

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

3.1.3. Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

La ley de Aguas es “la norma jurídica reguladora del estado Ecuatoriano para asegurar el derecho del agua, estableciendo garantías de calidad, disponibilidad del recurso hídrico” (Constitución de la República del Ecuador, 2008). Esta ley “reconoce el papel transcendental de la gestión social del recurso mediante el reconocimiento de los sistemas comunitarios de agua como las Juntas de Agua Potable y Riego, Comités, y demás” (Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

Art. 1.- Naturaleza Jurídica. “Los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley” (Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

“El agua es el patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria” (Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

Art. 4.- Principios de la Ley. Esta Ley se fundamenta en los siguientes principios:

“La integración de todas las aguas, sean estas, superficiales, subterráneas o atmosféricas, en el ciclo hidrológico con los ecosistemas” (Constitución de la República del Ecuador, 2008). “El agua, como recurso natural debe

ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad; El agua, como bien de dominio público, es inalienable, imprescriptible e inembargable; El agua es patrimonio nacional y estratégico al servicio de las necesidades de las y los ciudadanos y elemento esencial para la soberanía alimentaria; En consecuencia, está prohibido cualquier tipo de propiedad privada sobre el agua; El acceso al agua es un derecho humano; El Estado garantiza el acceso equitativo al agua; El estado garantiza la gestión integral, integrada y participativa del agua; La gestión del agua es publica o comunitaria” (Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

3.1.4. Norma técnica ecuatoriana. NTE INEN 1 108:2011.

La presente norma tiene como objeto “establecer los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano, y su aplicación en los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros” (Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108, 2011).

A continuación, se señalan las Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) que se consideraron durante el proceso de muestreo:

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo manejo y conservación de muestras (Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108, 2011).

- Normar Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestre y técnicas de muestreo (Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108, 2011).

3.2. Calidad de agua

Según Jiménez (2010): “la calidad del recurso hídrico se refiere al grado de perturbación y potencial de conservación o restauración de un sistema sometido a presiones humanas”.

“La calidad de agua depende del uso que va a tener el agua o el sistema hídrico que se quiere valorar, esta va a presentar variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua” (Sierra, 2013). Dependiendo si el uso del agua es para consumo humano, riego, entre otros, el sistema de evaluación de la calidad de agua será diferente (Sierra, 2013).

La gestión de la calidad controla la contaminación de origen humano de forma que se asegure que el agua es adecuada para los usos a los que destina; para ello se debe conocer cuánto desecho puede asimilar (depurar de forma natural) un cuerpo de agua (Interconsulting Bureau S.L., 2017).

Las aguas tienen sistemas propios de depuración de residuos naturales, pero los de origen antrópico (humano) constan muchas veces de productos de síntesis, desconocidos en la naturaleza, por lo que no existen o no se conocen bien los mecanismos para su depuración (Interconsulting Bureau S.L., 2017).

El control de la calidad de agua es muy importante ya que puede convertirse en un agente transmisor de enfermedades por contaminación (Severiche, Acevedo, & Jaimes, 2015).

3.3. Topografía

La topografía es una rama de la geomática a la cual se la define como la ciencia, el arte y la tecnología que engloba todos las metodologías para medir y recopilar información física acerca de la Tierra y del medio ambiente que nos rodea (Wolf & Ghilani, Topografía, 2016).

Además, describe las dimensiones y el contorno de la superficie de la tierra, a través de la medida de distancias, direcciones y elevaciones. Aclara asimismo las líneas y niveles que se requieren para la cimentación de edificios, vías, presas y otras estructuras. De estas mediciones en campo, se incluye el cálculo de áreas, volúmenes y otras cuantificaciones, así como la elaboración de los diagramas y planos necesarios (McCormac, 2010).

En la actualidad la importancia de medir y monitorear nuestro medio ambiente se ha vuelto indispensable a medida que aumenta la población, los topógrafos hoy en día pueden medir, examinar la Tierra y sus recursos naturales, desde un punto de vista global usando las nuevas tecnologías terrestres, aéreas y satelitales, al mismo tiempo el uso de la computadora para el procesamiento de los datos (Wolf & Ghilani, Topografía, 2014).

Un topógrafo es un profesional apto para cumplir con las actividades como : Establecer, medir y representar el terreno, los objetos tridimensionales, los campos

puntuales y los trayectos del mismo, reclutar e interpretar la información del terreno relacionado geográficamente, hacer uso de aquella información para la planeación y administración eficiente del terreno , el mar y cualquiera estructura que se encuentre en aquel lugar y realiza investigación sobre las practicas anteriores y desarrolladas (Wolf & Ghilani, Topografía, 2016).

La topografía tiene aplicaciones en la ingeniería agrícola, tanto en levantamiento topográficos como trazos, deslindes, divisiones de tierra, canales, drenes y otros varios (Alcántara, Topografia y sus aplicaciones, 2014).

3.3.1. División de la topografía

La topografía se fragmenta en dos grandes áreas que son la Planimetría y Altimetría (Pérez P. , 2010).

3.3.1.1. Planimetría

Planimetría solo se toma en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario, que se presume, es la superficie media de la tierra (Torres & Villate , 2013); dicha proyección se denomina base productiva y es la que se considera cuando se miden distancias horizontales y se calcula el área de un terreno. Aquí no conciernen las diferencias relativas de las elevaciones entre los diferentes puntos del terreno (Pérez P. , 2010).

“El conjunto de líneas que une los puntos observados se designa poligonal base y es la que forma parte de la red elemental o esqueleto del levantamiento, a partir de la cual se referencia la posición de todos los detalles o accidentes naturales o artificiales de

interés .la poligonal base puede ser abierta o cerrada según los requerimientos del levantamiento topográfico” (Pérez P. , 2010).

3.3.1.2. Altimetría

Altimetría tiene en cuenta las diferencias de nivel existentes entre los distintos puntos de un terreno para la elaboración de un plano topográfico propiamente dicho (Torres & Villate , 2013). La determinación de las alturas o distancias verticales también se pueden hacer a partir de las mediciones de las pendientes o grado de inclinación del terreno y de la distancia inclinada entre cada dos puntos. Como resultado se obtiene el esquema vertical. (Pérez P. , 2010).

3.4. Levantamiento topográfico

Los levantamientos topográficos son un acumulado de operaciones que estipulan las posiciones de puntos, que tienen por objeto tomar suficientes datos de campo para dibujar planos y mapas en los que figure el relieve y la localización de puntos y detalles naturales y artificiales (Rincón , Vargas, & González, 2017)

Las acciones relacionadas al levantamiento topográfico han sido reformadas durante las pasadas décadas por la agregación de instrumentos de moderna tecnología entre los que se puede nombrar el GPS y la Estación Total (Pachas, 2009).

La finalidad de un levantamiento topográfico es para la determinación y fijación de senderos de terreno, servir de base para ciertos proyectos en la ejecución de obras públicas o privadas , servir para la determinación de las figuras de terrenos y masas de agua y ser de utilidad en toda obra vertical u horizontal (Pérez P. , 2010).

3.4.1. Replanteo

“Una vez elaborado el levantamiento y obteniendo como resultado un plano topográfico, los ingenieros o planificadores ejecutan proyectos sobre ellos que hay que plasmar en el terreno, por lo tanto, el trabajo de replanteo, consiste en volver al terreno a ubicar cada uno de los elementos geométricos anticipadamente definidos en el estudio” (Rincón , Vargas, & González, 2017).

3.4.2. Clase de levantamiento usado en el estudio

Dentro de todos los tipos de levantamientos que existen ,para nuestro estudio de la acequia Pumamaqui empleamos un levantamiento topográfico en general, el cual ayudo a localizar los linderos, medir y dividir parcelas, situar terrenos en planos generales atando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones (Rincón , Vargas, & González, 2017).

3.4.3. Tipo de levantamiento topográfico

Para el levantamiento topográfico realizado en la acequia Pumamaqui se usó el método de poligonal cerrada.

3.4.3.1. Levantamiento topográfico por el método de poligonal cerrada

Este método poligonal es usado para todo tipo de terrenos, ya que permite localizar las coordenadas y obtiene errores de cierre en los ángulos y distancias (Rincón , Vargas, & González, 2017) .

Cuando la exigencia en precisión en un levantamiento es alta, es preciso realizar el levantamiento utilizando el método de la poligonal cerrada, de tal forma que se configure un circuito cerrado, es decir la última estación de la poligonal debe cerrar con

la primera, de esta manera se obtendrán datos para poder efectuar los ajustes respectivos (Pérez P. , 2010).

3.5. Equipos Topográficos

Para llevar a cabo el levantamiento topográfico en donde se establecieron los puntos de muestreo de la acequia Pumamaqui, fue indispensable el uso de los siguientes equipos topográficos que se describen a continuación.

3.5.1. Estación total

La estación total es el instrumento básico en la toma de datos por topografía clásica. Esta permite medir ángulos horizontales y verticales y distancias geométricas desde el punto donde esta estacionada hasta un prisma reflector. El prisma va montado sobre un porta prismas que se coloca de forma vertical sobre el punto que queremos medir y la estación total se monta sobre un trípode (Pons, 2015).

Con la estación total se puede realizar la mayoría de trabajos topográficos como levantamientos topográficos, nivelaciones, medidas de áreas, volúmenes y replanteos. En general se necesita un mínimo de dos personas, una en el aparato y otra llevando el jalón (Pons, 2015).

3.5.2. Sistema de posicionamiento por satélite

Estos sistemas nos permiten saber la posición de una antena receptora en un sistema de referencia determinado con una gran precisión. Estos se basan en la medida de la distancia entre el receptor cuya posición se quiere determinar y un conjunto de satélites de posición conocida. Además, que se requiere la observación mínima de cuatro satélites para poder obtener la posición tridimensional de la antena receptora (Pons, 2015).

La ventaja principal es la alta precisión que se puede obtener en medidas entre dos antenas separadas a una gran distancia, por otro lado, no requiere tener visuales libres y se puede trabajar tanto de día como de noche. En cambio, como desventaja se necesita trabajar en zonas al aire libre, edificaciones cercanas, arboles u otros elementos pueden hacer imposible la medición (Pons, 2015).

En las siguientes ilustraciones se presenta el proceso de levantamiento topográfico realizado en campo y los equipos utilizados.



Ilustración 1. Utilización de un GPS diferencial para levantamiento topográfico de la acequia Pumamaqui, en la zona despejada de vegetación.



Ilustración 2. Utilización de la Estación Total para levantamiento topográfico de la acequia Pumamaqui, en la zona cubierta por vegetación.

3.6. Descripción del área de influencia

El área de influencia se halla asentada en el Cantón Cayambe, correspondiente a la Provincia de Pichincha, integrada a la Parroquia Olmedo en donde se sitúa la comunidad de Pesillo, como se observa en la ilustración 3.

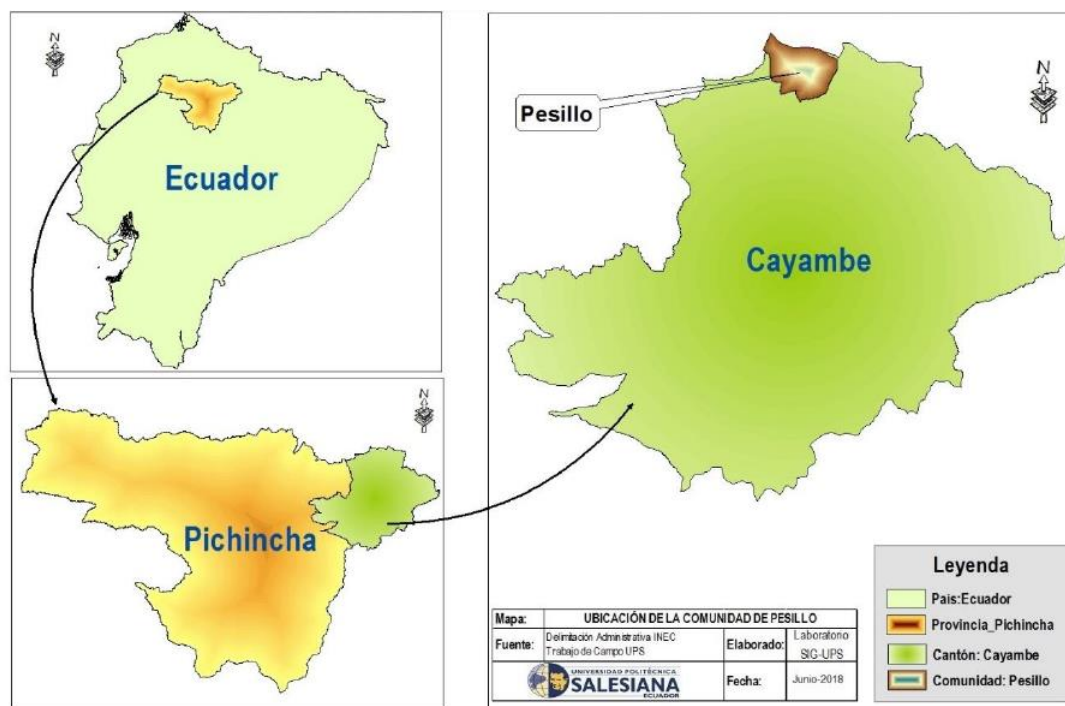


Ilustración 3. Ubicación geográfica de la comunidad de Pesillo.

De acuerdo al último censo poblacional del año 2010 y la actualización de los datos realizado en el año 2017 a cargo del Laboratorio de SIG de Cayambe, la comunidad de Pesillo cuenta con 2.572 habitantes, de los cuales 835 personas son cabeza de familia conformando parte de los usuarios del sistema de riego y productores de la comunidad, beneficiándose en si directamente 418 personas de la acequia Pumamaqui (Laboratorio SIG, 2018).

La comunidad de Pesillo cuenta con una pluviosidad anual de 674mm y una temperatura media de 11,69 °C, en los meses de marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre, presentan temperaturas mayores a la media; así también se presentan temperaturas por debajo de la media en los meses de enero, julio, agosto y septiembre (INAMHI, 2018).

En la comunidad de Pesillo, el suministro de agua que es usado tanto para riego como para consumo en general, se abastece a partir de la Acequia Pumamaqui, la cual cuenta con una longitud aproximada de 12km, que inicia con su captación en el río La Chimba, en las siguientes coordenadas UTM: 826609 al este y 17176 al norte, con una altitud de 3200 msnm y finaliza en el límite con la Provincia de Imbabura.

Bajo la influencia de esta acequia se encuentran 765,34 ha, de las cuales el 86,7% corresponden a pasto, seguido por la agricultura diversificada familiar (Laboratorio SIG, 2018). De acuerdo a la SENAGUA como ente regulador del agua, la comunidad de Pesillo tiene actualmente en papeles y autorizado un caudal aproximado de 205 l/s, que se usan para riego de los cultivos y para abrevaderos de animales (Laboratorio SIG, 2018).

El canal de conducción de la acequia es de forma rectangular, en varios tramos presenta un revestimiento de hormigón que debido a varios factores han deteriorado este recubrimiento, lo que ha generado derrumbes en las paredes del canal y en los túneles de la acequia Pumamaqui (Laboratorio SIG, 2018).

A lo largo de la conducción de la acequia que se lo realizó mediante canal se identificaron ciertos puntos críticos, los cuales se tomaron en cuenta para efectuar el muestreo de calidad de agua y generar su posterior análisis de resultados.

3.7. Puntos de muestreo

Según la Real Academia de Ingeniería un punto de muestreo de agua se define como “la posición exacta en donde se tomarán las diferentes muestras de agua a ser

analizadas”. Además, los puntos de muestreo deben ubicarse en un lugar que sea accesible para la toma de muestras, y el transporte de dichas muestras de agua.

3.7.1. Muestreo de agua

El muestreo de agua consiste en extraer una proporción representativa de una masa de agua directamente del punto muestreado con el objeto de analizar y examinar el estado y las características de la misma (Sierra, 2013).

La recolección de muestras de agua y los volúmenes son uno de los aspectos fundamentales de toda investigación para la calidad del agua, ya que los muestreos son el pedestal para el diseño y operación de las plantas de tratamiento de agua potable y residuales., también sirven para la elaboración de análisis, programas de control y evaluar las medidas de mitigación en proyectos de recuperación y mantenimiento de recursos hídricos (Sierra, 2013).

3.7.2. Representatividad de la muestra

La representatividad de la muestra se refiere a la localización de un área en donde el agua presente una mezcla completa y la muestra de agua represente lo que se va a examinar, esto se lo realiza según la convicción del investigador (Gleason, 2014).

El análisis de la variación de la composición de una muestra de agua es fundamental, aparte de tener el conocimiento de las actividades cotidianas que se realizan cerca de las fuentes permitirán tomar en cuenta sobre el comportamiento de la calidad de agua (Sierra, 2013).

3.7.3. Tipo de muestra

Los tipos de muestras de toma de agua más comunes son las muestras instantáneas, compuestas y las integradas, las cuales pueden ser tomadas manual o automáticamente (Sierra, 2013).

3.7.3.1. Muestra instantánea

Para el estudio de calidad de agua de la acequia Pumamaqui se tomaron muestras instantáneas, las cuales representaron los escenarios de la corriente de agua en el momento en que esta fue recolectada (Sierra, 2013).

Se recolecto este tipo de muestra instantánea debido a que el agua presente en la acequia Pumamaqui tiene características constantes en el tiempo, por lo que en esta situación, una muestra fue representativa para determinar la composición de agua de la acequia (Sierra, 2013).

3.7.4. Clase de muestreo manual

En la toma de muestras de la acequia se utilizó únicamente el muestreo manual, debido a el difícil acceso a ciertos lugares de la acequia, además de que este tipo de muestreo ayuda a identificar cualquier peculiaridad de las muestras y modificar inmediatamente cualquier deficiencia que se puede presentar, identificando así fácilmente sustancias flotantes, cambios de color u olores (Sierra, 2013).

3.8. Parámetros analizados

Para conocer la calidad de agua que presenta la acequia Pumamaqui e identificar si está siendo o no contaminada la misma, fue necesario realizar mediciones de los siguientes parámetros de calidad de agua.

3.8.1. Parámetros físico-químicos

Se clasifican como parámetros físico-químicos a aquellos que tienen repercusión sobre las condiciones del agua (Sierra, 2013). Es decir, la presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser tanto de origen natural como antropogénico, así también se puede definir por su composición física y química (Cifuentes , Gamboa, & Rocha, 2014).

3.8.1.1. *pH*

El pH (Potencial de Hidrógeno) es el parámetro empleado para identificar las condiciones de acidez, basicidad, o estado neutro del agua (Sierra, 2013). El pH presenta una escala de 0 – 14, donde un pH menor a 7 puede indicar acidez, mientras que un pH mayor a 7 indica alcalinidad (Jiménez, y otros, 2010).

El pH se puede medir en campo o en laboratorio mediante el uso del pH-metro (Sierra, 2013).

3.8.1.2. *Turbidez*

La turbidez es la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el ingreso de la luz (Sierra, 2013). La turbidez es derivada por materias en suspensión, como son la arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos (World Health Organization, 2011). La unidad normalmente utilizada para medir la turbidez es la UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

3.8.1.3. *Oxígeno disuelto*

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua y que es fundamental para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal (Hincapié & Chaverra, 2015).

Habitualmente, un nivel más alto de OD indica agua de mejor calidad. Si los niveles de OD son demasiado bajos, indica deterioro en la condición del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida como peces y otros microorganismos (Cifuentes, Gamboa, & Rocha, 2014).

3.8.1.4. *Temperatura*

La temperatura se puede considerar como el parámetro físico más importante del agua. A más de afectar la viscosidad y velocidad de las reacciones químicas, interviene en el diseño de la mayoría de procesos de tratamiento del agua (Sierra, 2013).

Regularmente las medidas de temperatura pueden realizarse con cualquier termómetro Celsius de mercurio, que como mínimo debe tener una escala con marcas cada 0,1°C (Hincapié & Chaverra, 2015).

En regiones frías la temperatura puede variar entre 7°C a 18°C, mientras que en regiones cálidas la variación de temperatura es de 13°C a 30°C (Hincapié & Chaverra, 2015).

3.8.1.5. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica indica la cantidad de sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Calcio (Ca), Hidruro Metálico (Mh), Sodio (Na), Fosforo (P), bicarbonatos y sulfatos (Sierra, 2013).

La conductividad eléctrica (CE) del agua es la medida de la capacidad de una solución para transportar la corriente eléctrica (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013). Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. Por tanto, el valor de la medida de CE es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) (Howe, Hand , Crittenden, Trussell, & Tchobanoglous, 2017).

Este parámetro de conductividad eléctrica es muy usado para determinar el uso de agua para riego (Howe, Hand , Crittenden, Trussell, & Tchobanoglous, 2017). Se mide en micro Siemens sobre centímetro (ms/cm).

3.8.1.6. Sólidos Totales

Los sólidos pueden afectar negativamente la calidad de agua o a su suministro de varias maneras (Hincapié & Chaverra, 2015). Los sólidos totales se refieren a toda la materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado bajo una temperatura entre 103°C - 105°C (Hincapié & Chaverra, 2015).

Los sólidos totales incluyen a los sólidos totales suspendidos, o porción de sólidos totales retenida por un tamiz, y a los sólidos disueltos totales o porción que traspasa el filtro (Hincapié & Chaverra, 2015). Las unidades en que se mide este parámetro son miligramo sobre litro (mg/l).

3.8.1.7. DBO₅

El análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es un medio experimental, que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos destinatarios (Hincapié & Chaverra, 2015). Normalmente se mide transcurrido cinco días (BDO₅) y se expresa en miligramos de Oxígeno sobre litro (mgO₂/l) (American Water Works Association, 2012).

3.8.1.8. DQO

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es usada para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general una solución de dicromato en un medio ácido y a alta temperatura (Russell, 2012).

La DQO es la cantidad de equivalentes- gramo de agente oxidante gastados en la oxidación de los compuestos presentes en el agua, expresada en miligramos de oxígeno por litro de solución (mg/l) (Hincapié & Chaverra, 2015).

3.8.2. Parámetros microbiológicos

El agua puede ser vector de gérmenes peligrosos, por lo cual es necesario determinar su calidad, es por ello que deben realizarse análisis de este tipo microbiológico para ver si existe o no presencia de contaminación animal o humana y así poder determinar si el agua es apta para sus distintos usos empleados (Russell, 2012).

3.8.2.1. Coliformes fecales

El grupo de los coliformes es una forma de clasificación de bacterias en cuanto a su forma de detección y reacciones bioquímicas y no un grupo de una clasificación taxonómica (Camacho, 2014).

Los Coliformes o coliaerogenes, aunque se pueden encontrar en el intestino de humanos y animales, también se encuentra en otros ambientes, por lo que carecen de especificidad. No obstante se usan como indicadores fecales por: i) su frecuencia en heces; ii) fácil detección; iii) semejanza con alguno de los miembros de la familia de las *Enterobacteriaceae* patógenos (Camacho, 2014).

Los coliformes fecales tienen origen estrictamente fecal y debe considerarse como presunto el género *Escherichia*, especie *E.coli* (Camacho, 2014).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio de la calidad de agua del presente trabajo investigativo se utilizó como base la normativa ambiental en la que se manifiestan los límites máximos permisibles para los diferentes usos del agua, como lo es El LIBRO VI ANEXO I. “Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua”, del TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2015).

Así mismo se siguieron las especificaciones que se dictan en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, y técnicas de muestreo.

Cabe mencionar que, con nuestro estudio, es la primera vez que se realizaron análisis de calidad de agua a la acequia Pumamaqui.

4.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron durante la ejecución de este trabajo de investigación fueron: recursos humanos, materiales e insumos, los cuales se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Materiales requeridos para la elaboración del presente trabajo.

RECURSOS HUMANOS	RECURSOS MATERIALES	INSUMOS
Tutor de tesis	GPS diferencial	Computadora
Técnicos de investigación	Estación Total	Material Bibliográfico referente al tema
Ingeniero civil	Bastón y prisma	Levantamiento topográfico de la Acequia
Miembros de la comunidad	Software ArcMap	Análisis de laboratorio físico-químico y microbiológico.
	Software AutoCAD	
	Software ArcMap	

4.2. Métodos

4.2.1. Ubicación

Para la ubicación de los puntos muestreados se realizó un levantamiento topográfico con el método de la poligonal cerrada, en donde primero se dio el reconocimiento del terreno, y se realizó el grafico correspondiente, el cual se lo fue haciendo a medida que se avanzaba el recorrido por el borde de la acequia (Alcántara, 2014).

Para empezar con el levantamiento se instaló el equipo en el punto donde se encontraban las coordenadas conocidas, establecidas por el Instituto Geográfico Militar, las cuales la comunidad de Pesillo había pagado por ellas con anterioridad, seguidamente se visó el punto de amarre, se calibró el equipo a los $0^{\circ}00'00''$, se procedió a leer el ángulo y se midió la distancia al delta 1, luego de esto se mide todos los ángulos y las distancias que se pueden tomar desde el punto de inicio (Alcántara, 2014).

Este procedimiento se repite en cada cambio, tomando en cuenta que la poligonal no se cruce y que no quede ningún detalle sin tomar. Finalmente se arma nuevamente el equipo en el punto de inicio y se realiza el mismo proceso ya mencionado (Alcántara, 2014).

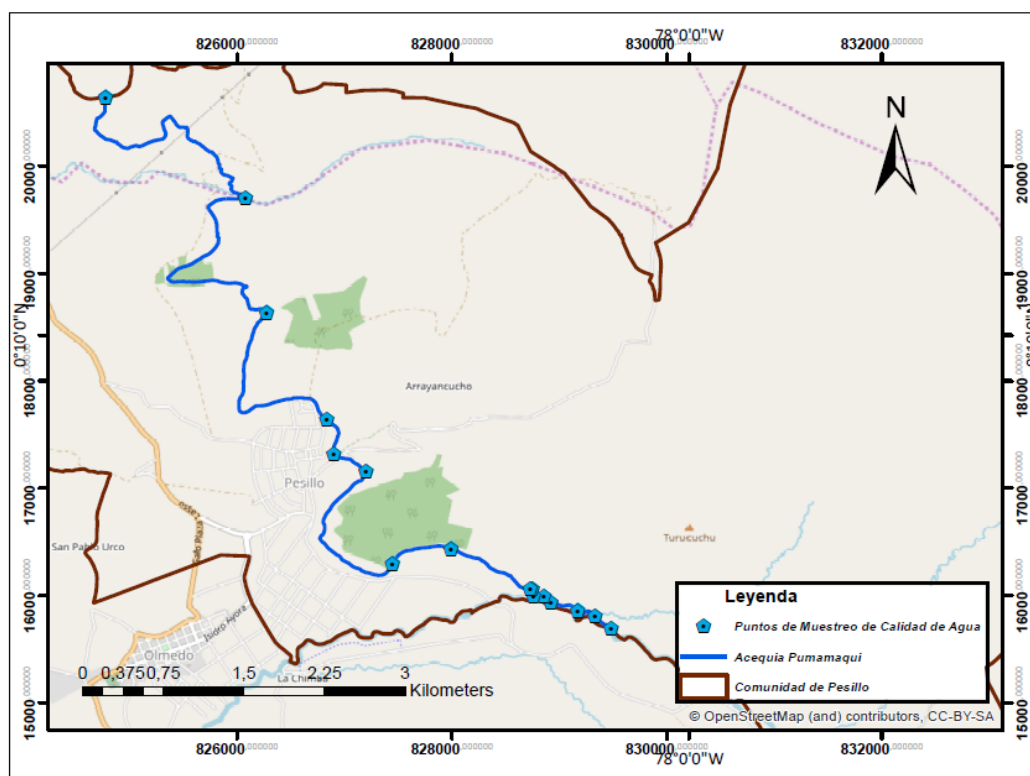


Ilustración 4. Ubicación geográfica de los 16 puntos de muestreo de la acequia Pumamaqui.

4.2.2. Tipo de muestra

Las muestras fueron de tipo puntual debido a que se recogieron en un lugar y un momento determinado para así poder representar la composición de la acequia, las cuales se recolectaron de forma manual.

4.2.3. Toma de muestra

En la toma de muestras para los análisis físico-químicos se utilizaron recipientes de plástico de 2000 ml. de volumen, nuevos y estériles, y para análisis microbiológicos de 100 ml siguiendo las especificaciones que se dictan en las NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras y NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, y técnicas de muestreo.

Antes de proceder a la toma de las muestras de agua en cada punto determinado, el recipiente nuevo y estéril fue lavado por 3 ocasiones con el agua de la acequia del punto a muestrear, para que no se contamine o deteriore la misma antes de llegar a los laboratorios. La recolección de las muestras de agua se realizó en la mitad de la acequia y en dirección contraria al flujo de la acequia, y sin la presencia de turbulencia.

Posteriormente se procedió con el etiquetado de los envases, en los cuales se escribió el código de la muestra, fecha, hora, lugar de recolección y nombres de los recolectores; el etiquetado se plasmó con marcador permanente después de haber sido tomada la muestra, esta información se documentó en la libreta de campo adjuntando algunas observaciones como posibles fuentes de contaminación, además se incluyó archivo fotográfico.

Finalmente se procedió a colocar estacas, para que en un nuevo estudio se pueda repetir el muestreo.

Es preciso destacar que debido a que nuestras muestras de agua fueron transportadas a los laboratorios ubicados en la ciudad de Quito, al momento de tomar la muestra se dejó un espacio aproximado del 1% de la capacidad del envase para permitir la expansión térmica (Sierra, 2013).

Para cumplir con los objetivos de la investigación sobre la acequia Pumamaqui se determinaron 16 puntos de muestreo para realizar el análisis de calidad de agua, así también fue necesario contar con un levantamiento topográfico, el cual se elaboró para obtener el desarrollo de la conducción del sistema de riego y la ubicación exacta de los

puntos de muestreo. En cada uno de estos puntos se analizaron parámetros físico-químicos y microbiológicos

4.2.4. Preservación de las Muestras

Para la respectiva cadena de custodia (preservación), basadas en la NTE INEN 2169:98, se utilizaron coolers para protegerlas de la luz del sol, con icepack, manteniendo así una temperatura de entre 4 °C y 8 °C, con el fin de retardar los cambios químicos y biológicos que continúan después de que la muestra ha sido recogida de su lugar de origen, tomando en consideración que las muestras llegaron al laboratorio transcurridas 16 horas de la primera toma.

En las siguientes ilustraciones se puede constatar la toma de muestras, en los puntos considerados con mayor relevancia debido a la alta cantidad de coliformes fecales de acuerdo a la investigación.



Ilustración 5. Toma de muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Zona de captación, Río La Chimba. PUNTO DE MUESTREO: M001.



Ilustración 6. Recolección de muestra de agua para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: M008.



Ilustración 7. Recolección de muestra de agua para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: M013.



Ilustración 8. Recolección de muestra de agua para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: M014.



Ilustración 9. Recolección de muestra de agua para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: M015.



Ilustración 10. Recolección de muestra de agua para análisis físico-químicos y microbiológicos, además de medición de pH y temperatura in situ. SITIO: Acequia Pumamaqui. PUNTO DE MUESTREO: M016.

4.2.5. Medición y análisis de las muestras de agua

En la tabla 4 se observan los parámetros analizados tanto en laboratorio como in situ.

Tabla 4. Parámetros analizados.

PARÁMETROS IN SITU (pH-metro)	PARÁMETROS EN LABORATORIO
Temperatura	Conductividad Eléctrica
pH	Oxígeno Disuelto
	Turbidez
	Coliformes fecales
	DBO ₅
	DQO
	Sólidos Totales

Elaborado por: Carvajal J. & Olives M.

Para todos los análisis realizados in situ y en laboratorio, su metodología se basó en la NTE INEN 2169:98 del Instituto Ecuatoriano de Normalización.

4.2.6. Medición de parámetros in situ

4.2.6.1. pH y temperatura

Materiales y métodos

Para la medición de los parámetros in situ, como el pH y temperatura se necesitó de un pH-metro portátil, marca Hanna Instruments modelo HI9812, el cual fue verificado que este calibrado y lavado el electrodo con agua destilada, para evitar errores en las mediciones. Procediendo de la siguiente manera:

Se recolecta el agua en un recipiente plástico, se introduce el pH-metro en el mismo, se deja estabilizar por 1 minuto, inmediatamente se da lectura a los resultados y se registra el valor de pH y de temperatura en la libreta de campo.

4.2.7. Medición de parámetros en laboratorio

La metodología y los materiales utilizados para el análisis de cada uno de los parámetros en laboratorio, se detallan a continuación:

Para los parámetros de DBO₅, DQO y Coliformes fecales, los análisis se realizaron en el Laboratorio de Oferta de servicios y productos de la Universidad Central del Ecuador, ubicado en la ciudad de Quito, los análisis estuvieron bajo las responsabilidades de B.F. Magaly Chasi – MsC. – Jefe de Área de microbiología y B.F. Alicia Cepa - Jefe de Área Ambiental; en la tabla 5 se observan los métodos utilizados:

Tabla 5. Métodos utilizados para análisis de calidad de agua.

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO
DBO ₅	mgO ₂ /L	MAM-38 / APHA 5210 B MODIFICADO MAM-23A / MERCK 112,28,29,132
DQO	mgO ₂ /L	MODIFICADO
COLIFORMES	NMP/100	
FECALES	ml	MMI-12/SM 9221-E MODIFICADO

Fuente: (Laboratorios OSP, 2019).

Para los parámetros de conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez y sólidos totales, que se describen a continuación, los análisis se realizaron en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Politécnica Salesiana, ubicado en la ciudad de Quito, los mismos que estuvieron a cargo de las estudiantes, Carvajal J. y Olives M.

4.2.7.1. Conductividad eléctrica

Fue importante mantener una temperatura de 25 °C, tanto las soluciones estándar como las muestras de agua. Se procedió a verificar la calibración del equipo, el Conductímetro, con una solución preparada al 0.01M de Cloruro de Potasio (KCl) con una conductividad de 1413 uS/cm, antes de ejecutar el análisis a las muestras.

Una vez calibrado el equipo, se llevó a cabo la medición, en donde se agitó la muestra para depositar el volumen que necesitamos a un vaso de precipitación, la muestra cubrió totalmente al electrodo, se volvió a remover suavemente la muestra para obtener homogeneidad, una vez que la lectura se estabilizó, se registró el valor medido.

Finalmente se lavó el electrodo con agua destilada y se secó con papel.

4.2.7.2. Oxígeno disuelto

Se tomó la cantidad de muestra de agua necesaria para llevarla a una botella Winkler, se tuvo precaución que al tapar la botella no se genere burbujas en su interior. Se mantuvo tapada la botella hasta realizar su medición.

La botella Winkler se colocó en una plancha de agitación a nivel moderado, se la destapó cuidadosamente insertando un embudo para que no se esparza la muestra y se introdujo un electrodo hasta la mitad; una vez que se estabilizó el equipo se tomó la lectura del oxígeno en mg/l, la temperatura de medición, el porcentaje de solubilidad y se registraron los datos obtenidos.

4.2.7.3. Turbidez

Para iniciar con el análisis del parámetro de turbidez, primero se calibró el Turbidímetro con una solución estándar de turbidez compuesta de formacina de 10 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez) que ya viene en el vial del equipo.

Luego se procedió a agitar fuertemente la muestra de agua, y se llenó el vial correspondiente, a continuación, se tapó el vial en donde se colocó la muestra de agua, se lo limpió y se colocó en la celda del equipo. Se tapó con el tapa-muestras y se prosiguió a la lectura de los datos. Se registró la lectura en UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

Cálculos

Ecuación 2. Fórmula para la turbidez

$$UNT \text{ (unidades nefelometricas de turbidez)} = A * F$$

$A = \text{UNT leídas en el equipo}$

$F = \text{Factor de dilucion de la muestra}$ (Hincapié & Chaverra, 2015)

4.2.7.4. Sólidos Totales

Antes de usar los crisoles, se etiquetó a cada uno, se los colocó dentro de la mufla para tarar a 550°C, durante 30 minutos, se los dejó enfriar en el desecador, y se pesó inmediatamente antes de usarlos.

Se agitó la muestra para homogenizarla. Se midió 50ml de la muestra homogenizada en una probeta, y se transfirió dicho volumen hacia los crisoles, se llevaron estos a la estufa por 1 hora a una temperatura entre 103°C -105°C, para evaporar la muestra. Una vez que se enfrió se colocó nuevamente en el desecador, se pesó hasta obtener un valor fijo, y se registró su valor.

Cálculos

Ecuación 3. Fórmula para los sólidos totales

$$\text{Sólidos Totales } \frac{mg}{l} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{Volumen Muestra, ml}}$$

$A = \text{Peso del residuo seco} + \text{capsula, mg}$

$B = \text{Peso de la capsula vacia, mg}$ (Hincapié & Chaverra, 2015).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el levantamiento topográfico se pudo registrar que en la comunidad de Pesillo existen sistemas de riego instalados, ya sean colectivos o individuales, los cuales se abastecen directamente del agua de la acequia Pumamaqui, pero tienen una deficiencia técnica, debido a que los usuarios por desconocimiento han instalado tuberías de diferentes diámetros, lo cual produce que el caudal captado no sea el adecuado para el sector que se necesita regar (Laboratorio SIG, 2018).

En la tabla 6 se puede observar los puntos de muestreo con sus respectivas coordenadas.

Tabla 6. Localización geográfica de los puntos de muestreo en coordenadas UTM (WGS84).

PUNTOS DE MUESTREO	
COMUNIDAD:	SITIO:
Pesillo	Acequia Pumamaqui
	PUNTO: M001
	COORDENADAS UTM
	X: 829479.620
	Y: 15698.157
	Z: 3186.147
	PUNTO: M002
	COORDENADAS UTM
	X: 829328.856
	Y: 15811.657
	Z: 3179.278



PUNTO: M003

COORDENADAS UTM

X:829170.150

Y:15863.628

Z:3179.436



PUNTO: M004

COORDENADAS UTM

X:828918.938

Y:15939.725

Z:3177.258



PUNTO: M005

COORDENADAS UTM

X:828854.354

Y:15996.725

Z:3175.763



PUNTO: M006

COORDENADAS UTM

X:828758.099

Y:16000.264

Z:3176.665



PUNTO: M007

COORDENADAS UTM

X:828745.025

Y:16067.718

Z:3175.494



PUNTO: M008

COORDENADAS UTM

X:828758.099

Y:16143.161

Z:3174.680



PUNTO: M009

COORDENADAS UTM

X:827990.308

Y:16438.076

Z:3173.619



PUNTO: M010

COORDENADAS UTM

X:827406.425

Y:16321.628

Z:3172.671



PUNTO: M011

COORDENADAS UTM

X:827200.083

Y:17157.786

Z:3169.391



PUNTO: M012

COORDENADAS UTM

X:826900.861

Y:17320.600

Z:3168.251



PUNTO: M013

COORDENADAS UTM

X:826832.454

Y:17643.780

Z:3167.416



PUNTO: M014

COORDENADAS UTM

X:826272.371

Y:18641.651

Z:3159.280



PUNTO: M015
COORDENADAS UTM

X:826077.780

Y:19706.755

Z:3144.148



PUNTO: M016
COORDENADAS UTM

X:824774.659

Y:20643.824

Z:3126.628

Elaborado por: Carvajal J. & Olives M.

Los análisis de laboratorio de las muestras recolectadas permitieron obtener resultados que ayudaron a identificar ciertos factores que perjudican a la calidad de agua de la acequia Pumamaqui, y a su vez aportan con la contaminación de la misma, a causa de la degradación del agua, para tomar en cuenta las posibles consecuencias y afectaciones sobre los sembríos, el ganado y los habitantes del sector que hacen uso del agua de la acequia en ciertas ocasiones.

En las siguientes ilustraciones se puede visualizar algunos de los agentes de contaminación para la acequia Pumamaqui, que fueron captadas durante el recorrido que se realizó para la toma de cada punto de muestreo.



Ilustración 11. Cúmulos de tierra mezclado con estiércol del ganado vacuno.



Ilustración 12. Personas lavando ropa a la orilla de la Acequia.

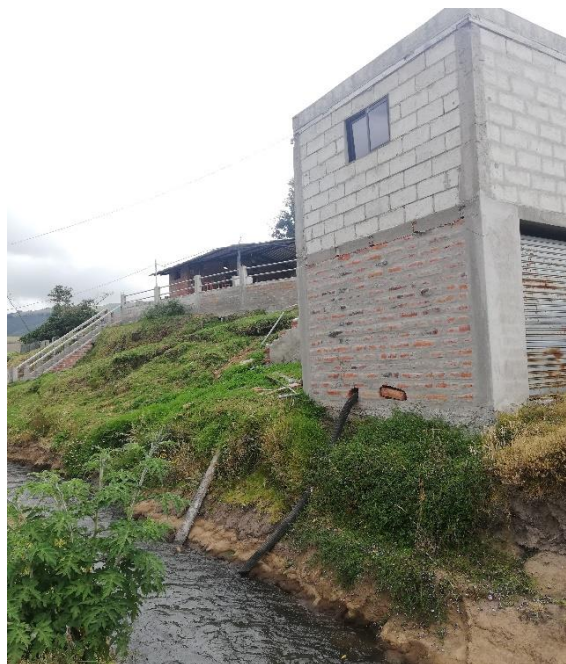


Ilustración 13. Desfogue de agua.



Ilustración 14. Presencia de ganado porcino y excremento a las orillas de la Acequia.

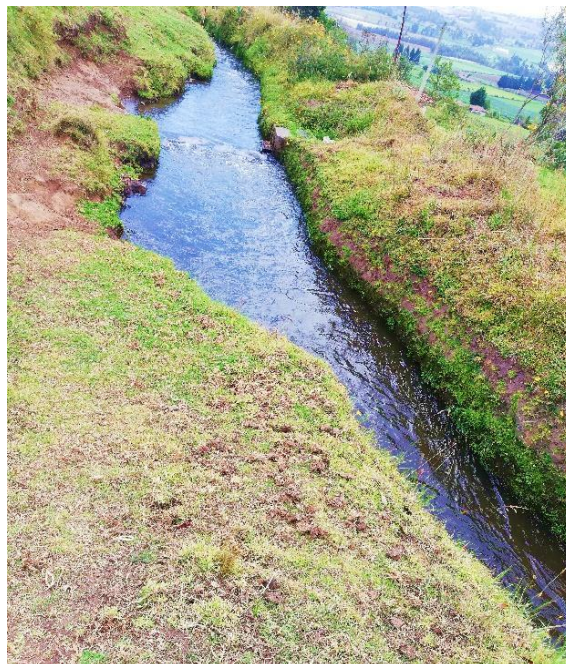


Ilustración 15. Hallazgo de excremento de ganado vacuno y equino a las orillas y al interior de la Acequia.



Ilustración 16. Presencia de ganado equino al interior de la Acequia.



Ilustración 17. Presencia de ganado vacuno al interior de la Acequia.

5.1. Resultados

Posteriormente se presentan los resultados obtenidos en laboratorio de las muestras de agua, y las comparaciones de estos con los valores máximos permisibles que se establecen en el Texto Unificado de Legislación Secundario del Ministerio de Ambiente (TULSMA) Libro VI Anexo I, con el fin de poder determinar la calidad de agua presente en la acequia Pumamaqui.

5.1.1. pH y Temperatura

Seguidamente, se describen los resultados obtenidos de los parámetros de pH y Temperatura que se midieron in situ.

Tabla 7. Resultados de pH y Temperatura in situ.

Muestra	Temperatura	Potencial de hidrógeno	Norma pH
	°C	(pH)	
001	14	8,5	6-9
002	13,7	8,47	6-9
003	13,6	8,57	6-9
004	12,8	8,48	6-9
005	13	8,58	6-9
006	13	8,51	6-9
007	13,5	8,53	6-9
008	13,5	8,65	6-9
009	13,4	8,64	6-9
010	13,13	8,56	6-9
011	14,2	8,52	6-9
012	14,2	8,44	6-9
013	13,8	8,2	6-9
014	14,2	8,2	6-9
015	13,6	8,46	6-9
016	12,7	8,29	6-9

Elaborado por: Carvajal J. & Olives M.

Como podemos notar en la tabla 7, los resultados obtenidos, fueron comparados con la tabla 2 y 6 del Libro VI Anexo I del TULSMA, las cuales indican los criterios de calidad para agua de consumo humano y uso doméstico que solo requieran desinfección y los criterios de calidad de agua para uso agrícola o riego respectivamente.

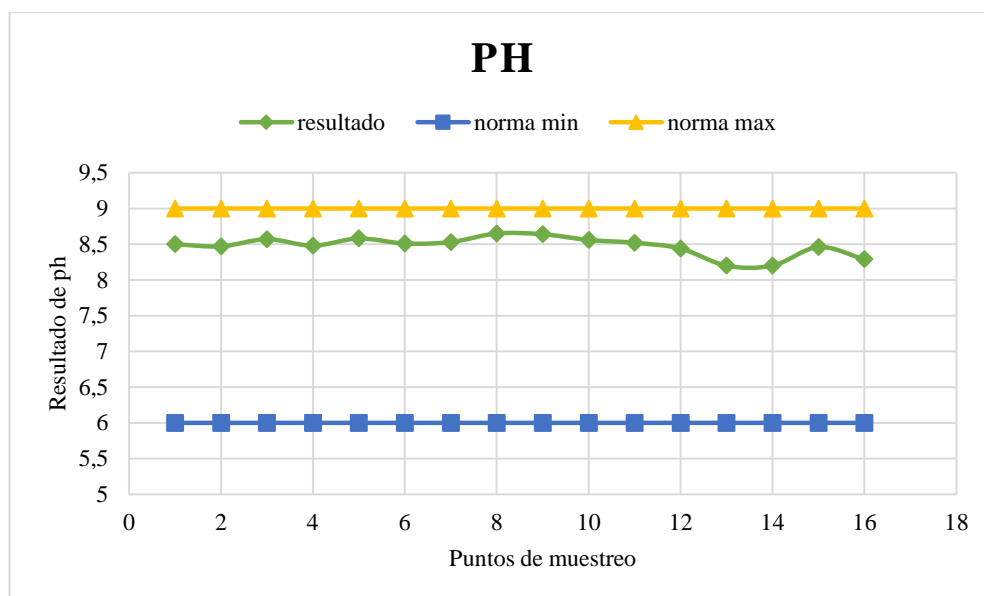


Ilustración 18. Comportamiento del pH a lo largo de la Acequia.

Para el parámetro de pH, se puede constatar en la ilustración 18, que no existe una variación significativa a lo largo de toda la acequia Pumamaqui, a su vez también podemos distinguir que los resultados obtenidos se encuentran dentro de los criterios de calidad establecidos en la normativa vigente, los cuales establecen un rango óptimo de pH de 6 a 9, tanto para aguas de consumo humano y uso doméstico como para uso agrícola o de riego.

Sin embargo, los valores de pH obtenidos están ligeramente alcalinos, lo cual según Mera & Vasquez (2017) pueden ser resultado de minerales disueltos producto de la sedimentación.

En el caso de la temperatura, se indica que la misma puede variar ± 3 °C, como se observa en la tabla 7 no existe variación mayor en la temperatura, teniendo como temperatura mínima 12,7 °C en el punto de muestreo M016 y como temperatura máxima presente en los puntos M011, M012, M014 con un valor de 14,2 °C. Teniendo una variación de 1,3°C, que se encuentra dentro del rango establecido por la normativa.

5.1.2. DBO₅, DQO y Coliformes fecales

En la tabla 8 se registran los resultados que se obtuvieron en el laboratorio OSP de la Universidad Central del Ecuador en Quito.

Tabla 8. Resultados de los parámetros analizados en Laboratorios OSP.

MUESTRA	DBO ₅ (mgO ₂ /L)		DQO (mgO ₂ /L)		Coliformes fecales (NMP/100ml)		
	Resultado	Norma	Resultado	norma	Resultado	Norma riego	Norma consumo
1	<5	2	8	250	1,1x10 ²	1000	50
2	<5	2	12	250	5,4x10 ²	1000	50
3	<5	2	16	250	5,4x10 ²	1000	50
4	<5	2	13	250	3,5x10 ²	1000	50
5	<5	2	11	250	3,5x10 ²	1000	50
6	<5	2	<8	250	1,7x10 ²	1000	50
7	<5	2	14	250	1,7x10 ²	1000	50
8	<5	2	<8	250	1,3x10 ³	1000	50
9	<5	2	12	250	3,5x10 ²	1000	50
10	<5	2	10	250	5,4x10 ²	1000	50
11	<5	2	27	250	2,8x10 ²	1000	50
12	<5	2	<8	250	9,2x10 ²	1000	50
13	<5	2	<8	250	5,4x10 ⁹	1000	50
14	<5	2	8	250	3,5x10 ⁹	1000	50
15	<5	2	<8	250	5,4x10 ¹⁰	1000	50
16	<5	2	13	250	2,4x10 ¹⁰	1000	50

Fuente: (Laboratorios OSP, 2019).

La DBO₅ indica aproximadamente la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en un cuerpo de agua (Villa, 2011). Para el parámetro **DBO₅** se precisa que los resultados obtenidos son menores a 5 mgO₂/L, sin embargo, comparando con la Normativa Ecuatoriana la cual establece que el límite máximo permisible es de 2 mgO₂/L para consumo humano y uso doméstico, se puede mencionar que el agua de la

acequia no es apta para el consumo humano. Mientras que si se la puede usar para las actividades agrícolas de riego y pecuarias.

Cabe señalar que los resultados en laboratorio de DBO_5 dan un valor menor a 5, debido a la precisión de los equipos, por lo tanto, no se conoce el valor real del parámetro, sin embargo, este se encuentra relacionado con el Oxígeno Disuelto, es por ello que podemos decir que, si el Oxígeno Disuelto no cumple con la normativa establecida, la DBO_5 tampoco lo hará. Es ahí donde podemos comprobar la veracidad de los resultados.

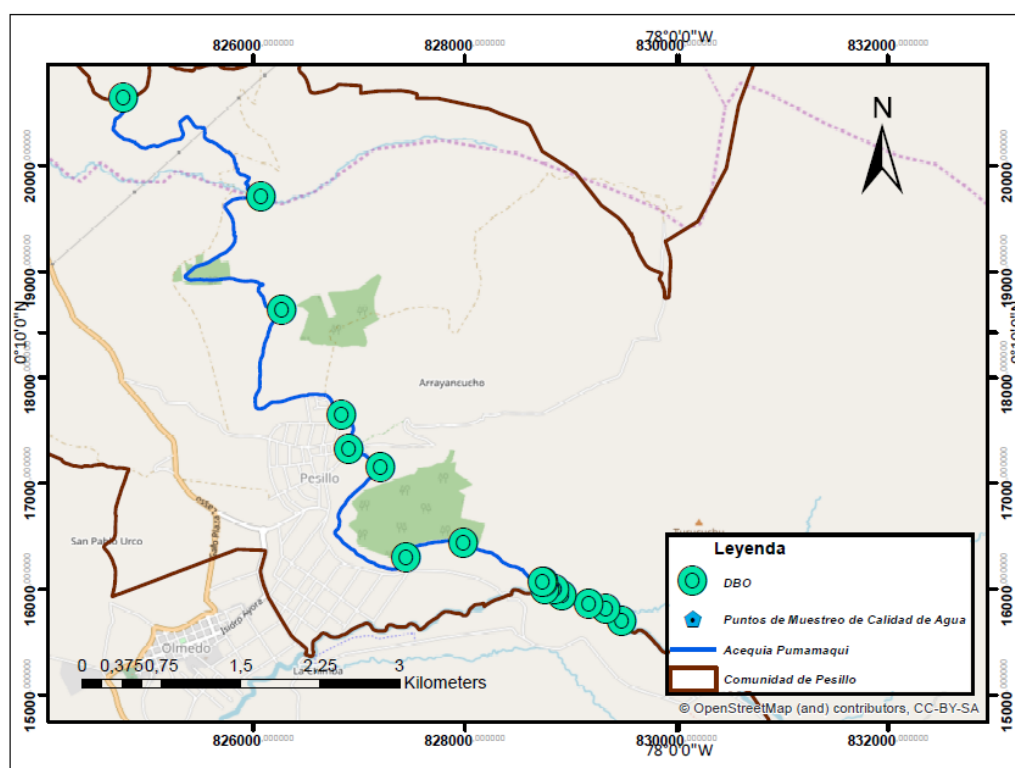


Ilustración 19. Puntos críticos de DBO_5 que sobrepasan la norma vigente a lo largo de la acequia Pumamaqui.

A diferencia de la DBO_5 , la DQO corresponde a la materia orgánica que se puede oxidar por la presencia de oxígeno (Villa, 2011). Los valores obtenidos para el parámetro de **DQO** después del análisis de las muestras, presentan variación entre

valores menores a 8 mgO₂/L y valores máximos, llegando hasta los 27 mgO₂/L. Justamente en el punto M011 nos encontramos con el valor mayor de 27 mgO₂/L, pese a ello, a lo largo de toda la conducción de la acequia, esta se encuentra dentro del límite máximo permisible que establece la Normativa Ecuatoriana, la cual es de 250 mgO₂/L, para los distintos usos del agua.

El único parámetro microbiológico analizado en la acequia Pumamaqui tuvo niveles alarmantes de **Coliformes fecales**, sobre todo en los últimos cuatro puntos de muestreo (M013, M014, M015 y M016), a causa de las heces del ganado vacuno, equino y porcino presente en la zona, ya que estos animales en ciertos tramos de la acequia tienen acceso fácil al interior de la misma para beber agua y además al ingresar a la acequia estos animales llevan en sus patas excremento contaminando la acequia, a su vez otro de los motivos que se suma para tener el resultado elevado en coliformes fecales se produce por la presencia de lluvia que arrastra consigo el excremento depositado en las zonas aledañas a las orillas de la acequia.

Debido a la presencia de cambios bruscos en los valores de coliformes fecales a lo largo de la acequia, se elaboraron dos gráficas, en las que se observa el aumento de este indicador en los puntos de muestreo ya nombrados anteriormente sobrepasando lo establecido en la Normativa Ambiental Ecuatoriana.

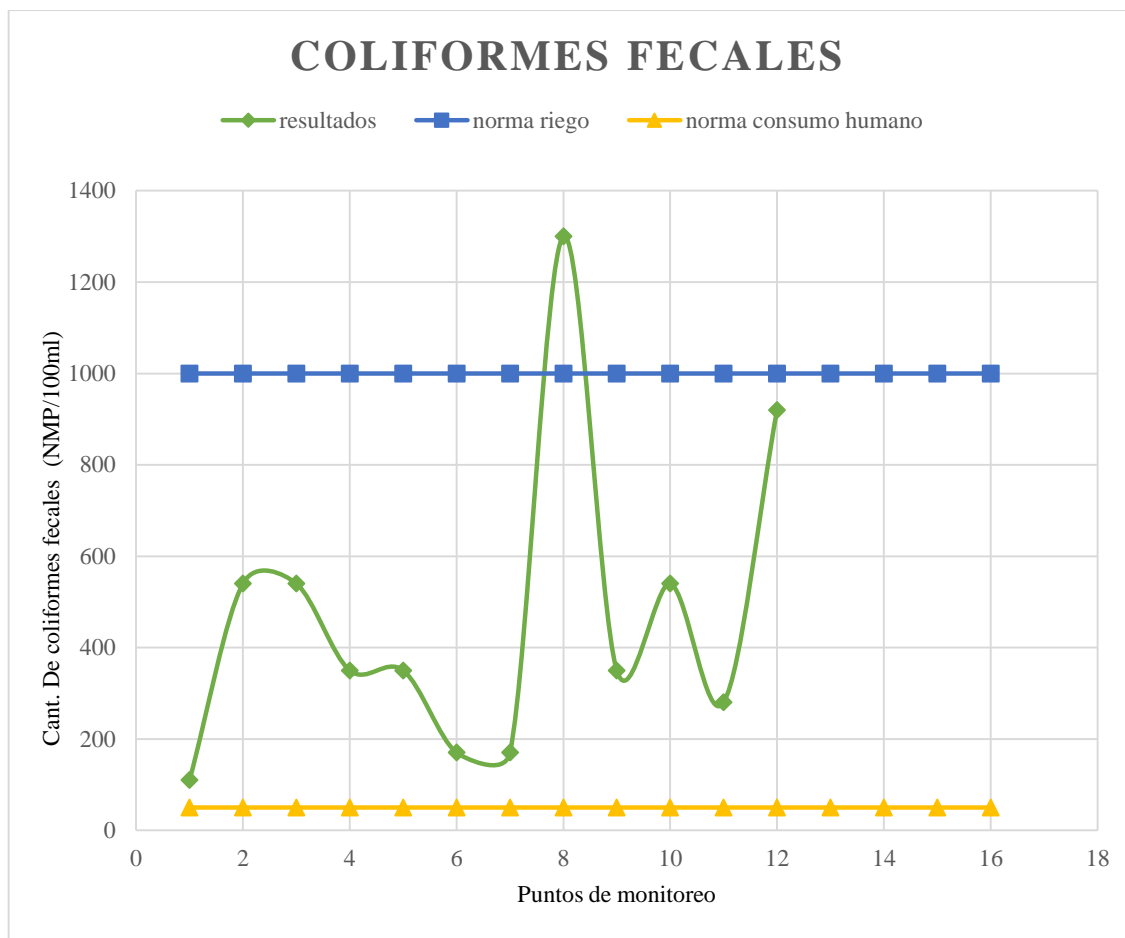


Ilustración 20. Comportamiento de los Coliformes fecales a lo largo de la Acequia, Tramo 1.

La ilustración 20 nos muestra que en el punto M008 con coordenadas en X: 828576.41, Y: 16143.16 y Z: 3174.68, se obtuvo un valor de coliformes fecales de 1300 NMP/100ml. El cual evidentemente excede con el rango establecido en la norma para agua de uso agrícola o riego. Se debe aclarar que el agua de la acequia no es apta para el consumo humano o uso doméstico, dado que los resultados de los análisis de coliformes fecales a lo largo de toda la acequia no cumplen con el límite máximo permisible que establece la norma, en vista de que sobrepasan los valores de 50 NMP/100ml, que es lo que se puede verificar en el Libro VI Anexo I del TULSMA.

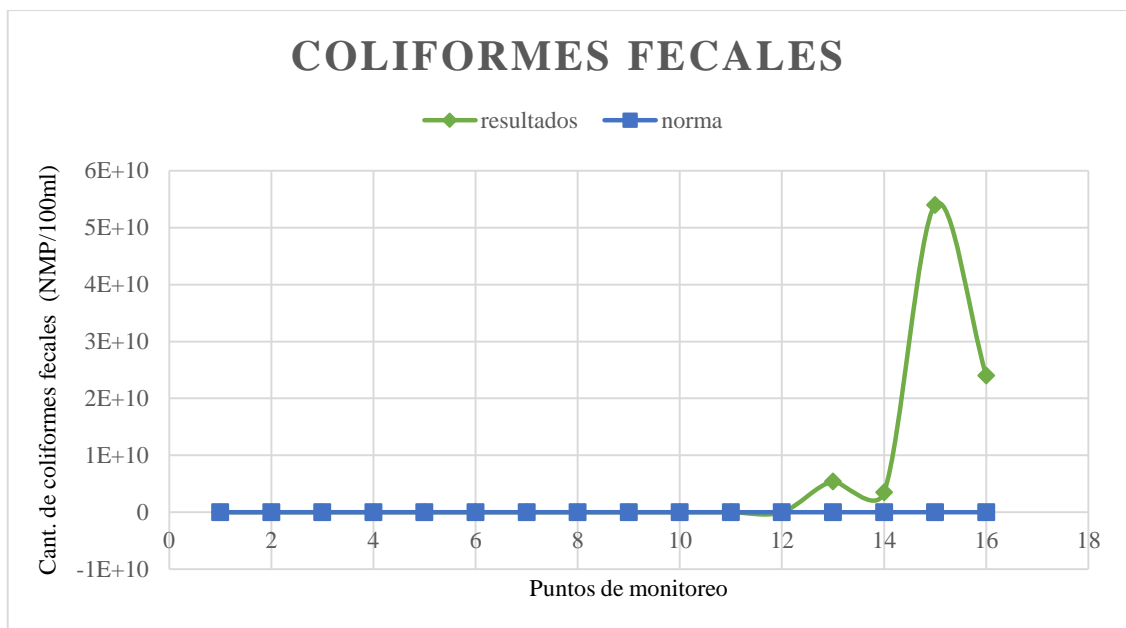


Ilustración 21. Comportamiento de los Coliformes fecales a lo largo de la Acequia, Tramo 2.

En la ilustración 21 se puede distinguir el segundo tramo de la acequia con relación a la tabla 8, en donde, los últimos 4 puntos de muestreo no cumplen con el límite máximo permisible que se establece en la Normativa Ecuatoriana para el agua de uso agrícola o riego. Por lo cual tanto en la ilustración 20 y 21 podemos observar que existen 5 puntos de muestreo con incumplimiento (M008, M013, M014, M015, M016), sobrepasando los valores especificados en la Normativa que es de 1000 NMP/100ml para aguas de uso agrícola o riego.

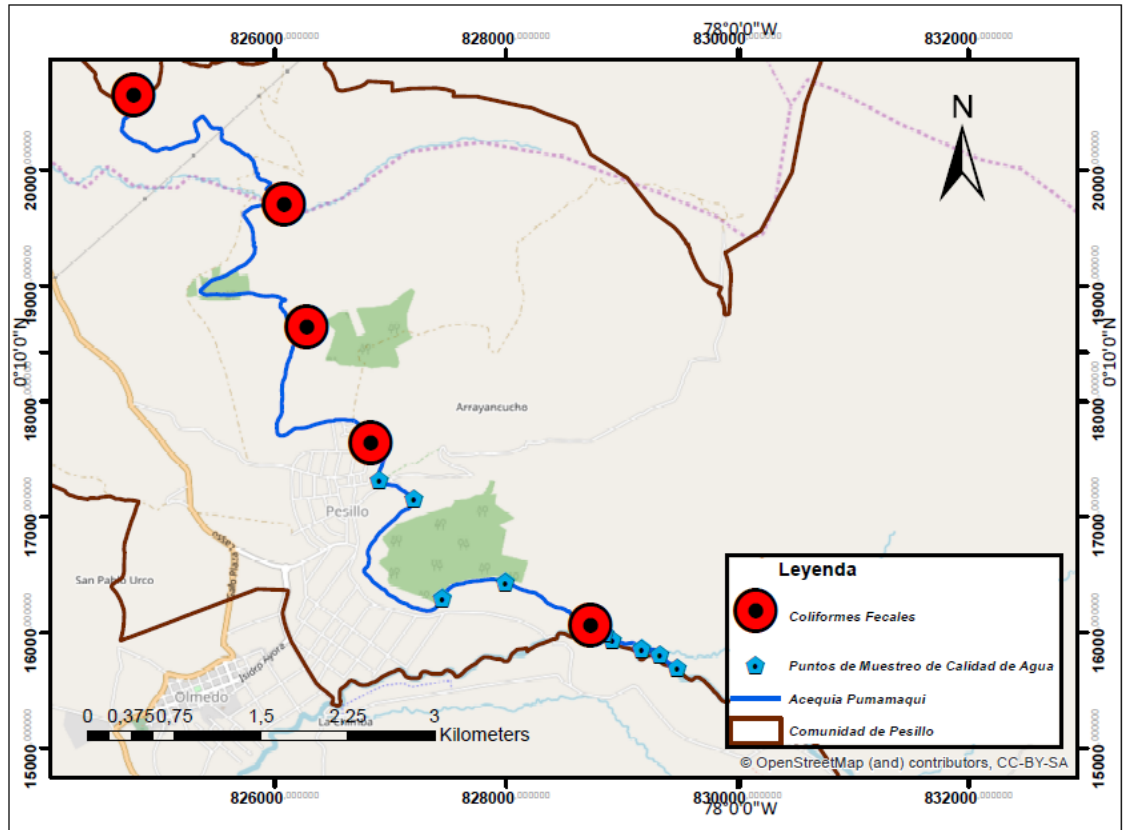


Ilustración 22. Puntos críticos de Coliformes Fecales que sobrepasan la norma vigente a lo largo de la acequia Pumamaqui.

5.1.3. Turbidez, Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto y Sólidos totales.

En la tabla 9 se registran los resultados que se obtuvieron en el laboratorio de aguas de la Universidad Politécnica Salesiana.

Tabla 9. Resultados de parámetros analizados en el laboratorio de la UPS Quito.

MUESTRA	Turbidez (NTU)		Conductividad eléctrica (mS/cm)		Oxígeno disuelto (mg/l)		Sólidos totales (mg/l)	
	Resultado	norma	Resultado		Resultado	norma	Resultado	Norma
001	1,42	10	0,119		4,38	>6	260	3000
002	1,1	10	0,118		4,13	>6	140	3000
003	1,1	10	0,116		4,17	>6	180	3000
004	1,23	10	0,112		4,19	>6	100	3000
005	1,56	10	0,114		4,24	>6	190	3000
006	2,01	10	0,11		4,28	>6	150	3000
007	1,99	10	0,114		4,4	>6	230	3000
008	2,2	10	0,111		4,46	>6	100	3000
009	3,2	10	0,111		4,39	>6	4880	3000
010	1,39	10	0,12		4,29	>6	4840	3000
011	1,14	10	0,106		4,63	>6	30	3000
012	2,39	10	0,113		4,53	>6	30	3000
013	1,19	10	0,113		4,54	>6	150	3000
014	1,51	10	0,112		4,24	>6	210	3000
015	2,87	10	0,108		4,32	>6	470	3000
016	3,1	10	0,112		4,05	>6	130	3000

Elaborado por: Carvajal J. & Olives M.

Respecto a los resultados del análisis del parámetro de **turbidez**, presentados en la tabla 9 y en la ilustración 23 se observa que las muestras de agua a lo largo de la acequia presentan valores que cumplen con el límite máximo permisible establecidos en el TULSMA Libro VI Anexo I, el cual da un valor permisible de 10 NTU para consumo de agua potable y saneamiento, lo que indica que no existe un arrastre de material suspendido que impida el paso de la luz natural.

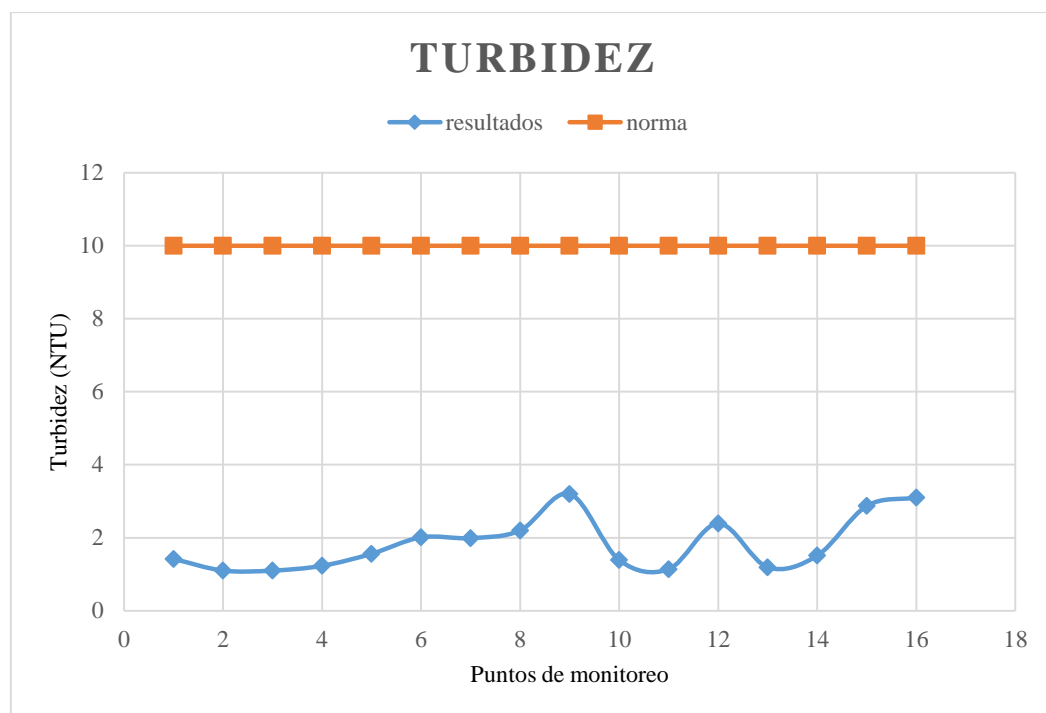


Ilustración 23. Comportamiento de la turbidez en la Acequia.

El parámetro de **sólidos totales** presenta una variación notable en el tramo medio de la acequia, obteniendo valores de 30 mg/l en los puntos M011 y M012, dándose así un contraste en los puntos M009 y M010 en los cuales se tiene un valor de 4880 mg/l, que exceden al límite máximo permisible del Libro VI Anexo I, en donde se especifica que los límites aceptables para agua de riego o uso agrícola son de 3000 mg/l, y para consumo humano y uso doméstico es de 1000 mg/l.

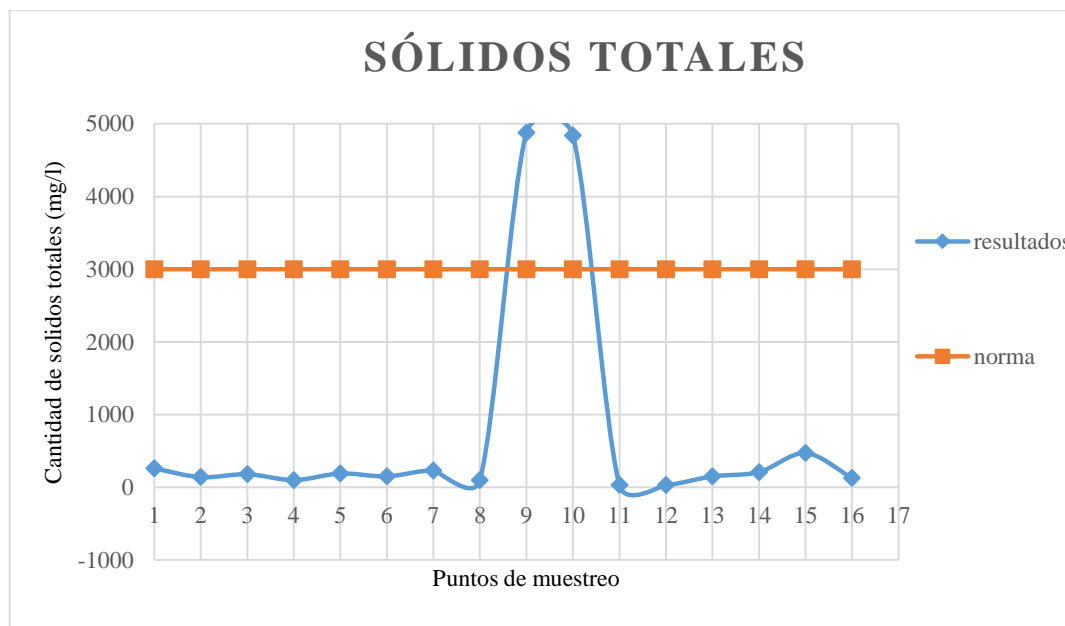


Ilustración 24. Comportamiento de los Solidos Totales a lo largo de la Acequia Pumamaqui.

La ilustración 24 presenta los resultados de los análisis de la calidad de agua de la acequia, los puntos de muestreo M009 con coordenadas en X: 827990.31, Y: 16438.08 y Z: 3173.62 y M010 con coordenadas en X: 827406.43, Y: 16231.63 y Z: 3172.67 son los más críticos porque presentan valores de sólidos totales que exceden a los valores máximos permisibles.

El aumento de sólidos totales presente en este tramo de la conducción de la acequia se da debido a la alta afluencia de materia orgánica que desciende de la parte del bosque que está cerca de la acequia y por la presencia de coliformes fecales del ganado equino y vacuno.

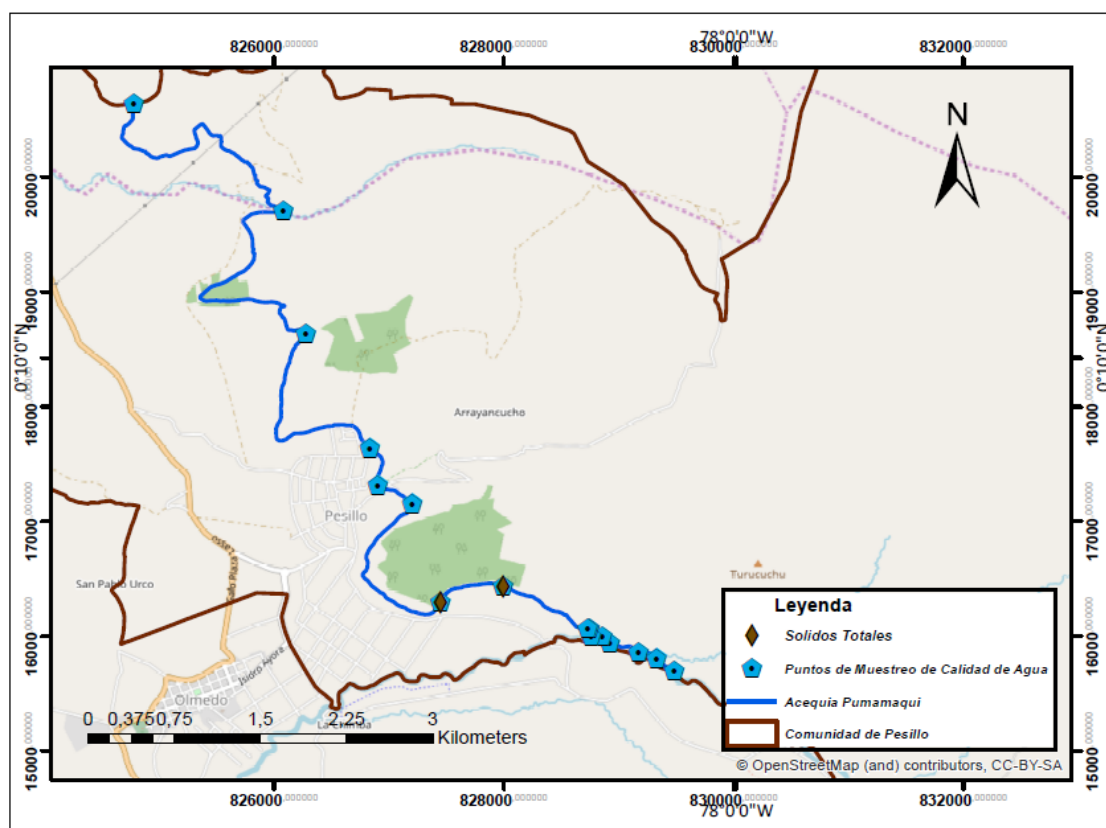


Ilustración 25. Puntos críticos de Sólidos Totales que sobrepasan la norma vigente a lo largo de la acequia Pumamaqui.

La **conductividad eléctrica** presenta una variación mínima que va entre los 0,11 mS/cm en el punto M006 y 0,119 mS/cm en la zona de la captación del Rio La Chimba en el punto M001, los resultados presentados en la tabla 9 demuestran que este parámetro cumple con los límites máximos permisibles que se indican en la normativa ecuatoriana, TULSMA Libro VI Anexo I, tanto para agua de uso agrícola o de riego como para agua de uso doméstico.

El **oxígeno disuelto** no presenta mayor variación pero no cumple con los valores normados, como podemos apreciar en la tabla 9, el punto de muestreo M016 que corresponde al punto final de la acequia Pumamaqui presenta un valor mínimo de OD con 4,05 mg/l, el punto M011 con 4,63 mg/l presenta el valor más alto, este rango de

valores se obtienen por la presencia de coliformes fecales en la conducción de la acequia, la normativa indica que para que una muestra cumpla con este parámetro el valor debe ser mayor a 6 mg/l.

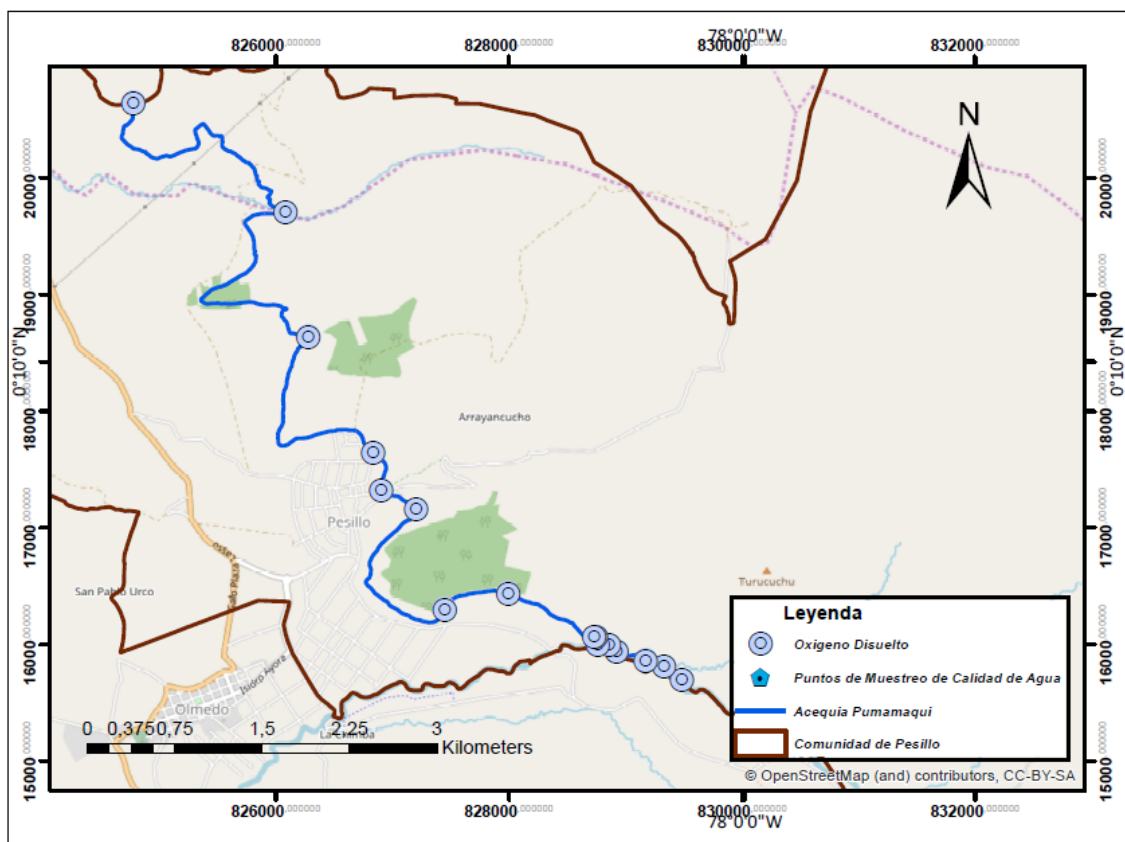


Ilustración 26. Puntos críticos de Oxígeno Disuelto que sobrepasan la norma vigente a lo largo de la acequia Pumamaqui.

5.2. Discusión

La comunidad de Pesillo es una zona altamente ganadera y de producción agrícola variada que cuenta con una superficie de 2140,80 ha, es por ello que la mayoría de su superficie está dedicada al cultivo de pasto para la producción de leche, pero también existen aunque en menor cantidad superficies dedicadas a la producción de cultivos tradicionales como quinua, melloco, frutales, chochos, entre otros (Laboratorio SIG, 2018).

En la tabla 10 se pueden apreciar las áreas destinadas a cada cultivo en la Comunidad de Pesillo.

Tabla 10. Áreas por cultivo en Pesillo.

Cultivo	Área
Pasto mejorado	410,32
Pasto no mejorado	1165,69
Quinoa	19,67
Melloco	9,58
Chochos	11,29
Frutales	0,55

Fuente: (Laboratorio SIG, 2018).

Estas superficies agrícolas son regadas con agua proveniente de la acequia Pumamaqui que cumple un papel importante ya que es el único sistema de riego que posee la comunidad de Pesillo, es por ello que una vez realizados y comparados los resultados obtenidos de los parámetros analizados con las respectivas tablas 2 y 6 del Libro VI Anexo I, las cuales indican los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que solo requieren desinfección y los límites máximos permisibles para aguas de uso agrícola o riego, se detectó que el agua de la acequia Pumamaqui no es apta para consumo humano y uso doméstico debido a que incumple con los criterios de calidad.

Sin embargo el agua de la acequia si es apta para uso agrícola o riego en ciertos tramos de la conducción del canal , una vez que se realizaron los respectivos análisis se puede identificar que los puntos de muestreo M008, M013, M014, M015, y M016 sobrepasan los niveles de coliformes fecales establecidos en la normativa con 1300 NMP/100ml, siendo este parámetro el más alarmante de todos, debido a la gran cantidad

de coliformes encontrados, a consecuencia de la presencia de excremento de animales, tanto de ganado vacuno, equino y porcino que se sitúan a las orillas de la acequia, por lo que en estos puntos críticos el agua de la acequia no se encuentra apta para uso agrícola, riego o consumo por parte del ganado y peor aún para consumo humano o doméstico. De esa manera en estos 5 puntos se debería proponer medidas preventivas, mitigadoras y correctivas para reducir la cantidad de coliformes fecales.

La relación que existe entre los parámetros de la DBO y el Oxígeno Disuelto los cuales incumplen con la normativa, se da debido a la gran cantidad de materia orgánica presente en la acequia Pumamaqui, estos parámetros incumplen con la normativa para agua de consumo humano y uso doméstico, mientras que si es apta para el uso agrícola, de riego y como abrevadero de animales.

Otro de los parámetros que no cumple con la normativa ya mencionada anteriormente son los sólidos totales, en los puntos M009 y M010 con un valor de 4880 mg/l, sobrepasando los límites máximos permisibles que estipula la normativa, debido al escorrentía de agua que ingresa a la acequia producto de las precipitaciones, lo que genera un incremento de cantidad de materia orgánica.

Por esta razón se debería prestar mayor atención a los puntos críticos ya mencionados que están incumpliendo con los límites máximos permisibles estipulados en la normativa, para que la junta de riego de la comunidad de Pesillo tome alternativas acerca del tema de la calidad de agua y formulen políticas de control y calidad para la acequia Pumamaqui, contrarrestando así posible contaminación dentro de la acequia y evitando enfermedades, presentes en los animales como en los moradores de la comunidad.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Mediante el análisis de los parámetros ya nombrados, se consiguió determinar la calidad de agua de la Acequia Pumamaqui, que influye directamente en las actividades de riego para los cultivos y para el uso como abrevaderos de los animales, de la comunidad de Pesillo en Cayambe. Identificando los puntos de muestreo a través del levantamiento topográfico a detalle realizado anticipadamente.
- La calidad de agua de la acequia se considera apta para el uso agrícola o de riego y uso pecuario en ciertos tramos, pero no para consumo humano o uso doméstico debido a la alta presencia de coliformes fecales que van desde 1300 NMP/100ml a 54000000000 NMP/100ml, en los puntos de muestreo M008, M013, M014, M015 y M016 correspondiente, excediendo lo estipulado en la Normativa ecuatoriana Ambiental.
- La presencia de coliformes fecales según lo observado y analizado es producto de la cantidad de heces e impurezas generadas por el ganado que se encuentra en las áreas aledañas por donde atraviesa la acequia, debido a la topografía del terreno cuando llueve arrastrando así materia orgánica, además existen zonas aledañas al canal que facilitan el ingreso de los animales para tomar agua contaminando la misma.
- Por otro lado, en los resultados físico-químicos obtenidos en laboratorio, los sólidos totales presentan un valor de 4880 mg/l, en los puntos M009 Y M010, que sobrepasan los valores estipulados en la normativa, los cuales se generan por

la gran cantidad de materia orgánica presente en la acequia, debido a que desde la zona de captación en el Río La Chimba se arrastra material pétreo, lodo y restos de vegetación al fondo de la acequia.

- El oxígeno disuelto y la DBO₅ están relacionados entre sí, por lo que el OD se encuentra bajo la norma permitida que es de 6 mg/l, teniendo resultados entre un rango alrededor de 4,05 mg/l y 4,63 mg/l, a lo largo de la acequia, es decir la presencia de estos resultados se manifiestan en todos los 16 puntos de muestreo. Este nivel bajo de oxígeno disuelto se da por la presencia de materia orgánica generada por los animales.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda que al momento de la toma de muestras de agua se debe considerar que las muestras no vayan a ser transportadas a una distancia lejana, las muestras de agua no deben tener presencia de burbujas para que no se alteren las propiedades naturales de las mismas.
- Se debe establecer medidas correctivas y preventivas frente a la contaminación por materia orgánica presente en la acequia Pumamaqui, para así evitar el daño a la calidad de agua de la acequia.
- Dar a conocer a los moradores de la comunidad de Pesillo y a la Junta de Riego los niveles de coliformes fecales presentes en la acequia y capacitar e implementar medidas de prevención y corrección para mejorar la calidad de agua de la acequia Pumamaqui.
- Se recomienda que la Junta de agua de Riego de Pesillo proponga nuevas políticas para que cumplan todos los beneficiarios de la acequia Pumamaqui,

siendo una de ellas el control de ingreso del ganado hacia la acequia, cercando los terrenos unos metros de distancia a la acequia Pumamaqui, evitando así el ingreso del ganado.

- Implementar sistemas para la depuración del estiércol del ganado, realizando fosas en los terrenos en donde se puede almacenar este estiércol, descomponiéndolo y seguido a esto se lo da uso como abono para los cultivos.
- Terminar con el revestimiento de hormigón en toda la extensión de la acequia Pumamaqui.
- Realizar un catastro de las familias que habitan alrededor de la acequia Pumamaqui, para poder determinar el área de influencia directa.
- Monitorear semestralmente la Acequia Pumamaqui mediante estudios de calidad de agua para ver la variación y cambios que se efectúen después de aplicar ciertas medidas correctivas y así tener conocimiento del estado de agua presente en la acequia.
- Analizar la factibilidad de minimizar el pastoreo o el descenso de ganado a la acequia, para así evitar la deposición de excremento y arrastre del mismo a la acequia.

7. BIBLIOGRAFÍA

- (APHA), A. P. (1989). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Michigan: American Public Health Association.
- Alárcon , I. (22 de Marzo de 2018). TRATAMIENTO Y CONSUMO DE AGUA EN ECUADOR. *En Ecuador se gasta 40% más agua que el promedio de la región*, pág. 1.
- Alcántara, D. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. Mexico: Compañía Editorial Continental.
- Alcántara, D. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. Mexico: Compañía Editorial Continental.
- American Water Works Association. (2012). *Standars Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC: Andrew D. Eaton, AWWA.
- Andrew, D., Lenore, S., Arnold, E., & Greenberg, M. (2007). *Standard Methods for the Examinatio of Water and Wastewater*. Michigan : American Public Health Association.
- APHA, AWWA, & WPCF. (1992). *MÉTODOS NORMALIZADOS Para el Análisis de aguas potables y residuales*. Madrid (España): Ediciones Diaz de Santos S.A.
- Arce, A., Calderón, C., & Tomasini,A. (2007). *Serie Autodidáctica de medición de la calidad del agua, muestreo y preservación*. México.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Constitucion del Ecuador (Derechos del Buen Vivir Artículo 12)*. Quito: Ediciones Legales.
- Ayers, R., & Westcot, D. (1976). (1976). *Calidad de agua para la agricultura*. Roma (Italia): EstudioFAO: Riego y drenaje.
- Bannister, A., & Baker, R. (1991). *Problemas Resueltos de Topografía*. Madrid (España): Bellisco.
- Camacho, S. (2014). *Ensayos microbiológicos*. Madrid-España: EDITORIAL SÍNTESIS, S.A.
- CEPAL. (2012). *DIAGNÓSTICO DE LAS ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN ECUADOR* .
- Chamba, K., & Guallasamin, C. (2015). *Estudio de la disponibilidad y calidad del agua de consumo humnao a traves del monitoreo de caudales y analisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la zona de Pesillo-Imbabura*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

- Chueca, M. (1983). *Topografía* . Madrid (España): Dossat S.A.
- Cifuentes , G., Gamboa, R., & Rocha, Z. (2014). *DIAGNÓSTICO FÍSICOQUÍMICO, BIOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO DE LAS AGUAS DEL EMBALSE DE LA COPA*. Boyacá: Ediciones Universidad de Boyacá.
- Cifuentes, G., Gamboa, R., & Rocha, Z. (2014). *DIAGNÓSTICO FÍSICOQUÍMICO, BIOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO DE LAS AGUAS DEL EMBALSE DE LA COPA (BOYACÁ)*. Boyacá- Colombia: Ediciones Universidad de Boyacá.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial*. Obtenido de <https://www.oas.org>: https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PEQUEÑAS POBLACIONES*. Bogotá (Colombia): McGraw-Hill Interamericana,S.A.
- Departamento de Información Pública de las Naciones Unidas. (2002). *El Agua*.
- Dominguez, F. . (1993). *Topografía Abreviada*. Madrid (España): Mundi-Prensa.
- Fernandez, A., & Mortier, C. (1990). Evaluación de la condicion del agua para consumo humano en Latinoamérica. *Centro de Estudios Transdisciplinarios del agua.*, 17-32.
- Ferrer,R., & Piña, B. (1992). *Topografía aplicada a la ingeniería*. Santander: ETSICCP Universidad de Cantabria.
- Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (2018). *CALIDAD DEL AGUA: DEFINICIÓN, FACTORES Y CRITERIOS*. Obtenido de <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/calidad-del-agua-definicion-factores-y-criterios/>
- Gallegos, J., & Medina, X. (2019). *Determinacion de pesticidas y calidad de agua de efluentes de florícolas en la zona de Cayambe*. Universidad Politecnica Salesiana.
- Gamazo, C., López, I., & Díaz, R. (2005). *Manual práctico de MICROBIOLOGÍA*. Barcelona (España): MASSON, S.A.
- Gámez, W. (2015). *TEXTO BASICO AUTOFORMATIVO DE TOPOGRAFÍA GENERAL* . Managua-Nicaragua: Centro Nacional de Información y Documentación Agropecuaria.

- Gleason, J. (2014). *Sistemas de Agua Sustentables En Las Ciudades*. México: Trillas.
- González, G. (2012). *MICROBIOLOGÍA DEL AGUA*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Hincapié, M., & Chaverra, G. (2015). *DIAGNÓSTICO DE AGUAS: MANUAL DE LABORATORIO*. Medellín (Colombia): Universidad de Medellín.
- Howe, K., Hand , D., Crittenden, J., Trussell, R., & Tchobanoglous, G. (2017). *Principios de tratamiento del agua*. México: CENGAGE Learning.
- INAMHI. (Diciembre de 2018). *Instituto Nacional de Hidrología y Metereología*. Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de Red de estaciones automáticas hidrometeorológicas: <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACION DE MUESTRAS*. Ecuador.
- interconsulting Bureau S.L. (2017). *Calidad de aguas: Usoa y Aprovechamiento*. España: ICB EDITORES.
- Interconsulting Bureau S.L. (2017). *Calidad de aguas: Usos y aprovechamiento*. Bogotá-Colombia: Ediciones de la U.
- Interconsulting Bureau S.L. (2017). *Calidad de aguas: Usos y aprovechamientos*. Colombia, Bogota: Ediciones de la U.
- Jiménez, B., Valiente, E., Ponce, G., Botello, A., López, B., Herrera, G., . . . Aguilar, A. (2010). *Calidad del agua: un enfoque multidisciplinario*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México II Ec.
- JOSE FABRICIO MERA TOALA, D. D. (2017). *Determinación de la calidad de agua para riego en el sistema de conducción, Santa Ana*. Santa Ana: Universidad Tecnica de Manabi.
- Laboratorio SIG. (2018). *Plan de mejoras de la Acequia Pumamaqui de la comunidad de Pesillo canton Cayambe-provincia de Pichincha*. Cayambe: GAD.
- Lazcano, C. (2016). *BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL DE AGUAS Y AGUAS RESIDUALES*. Bogotá: ECOE EDICIONES.
- Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014). *Segundo Suplemento -- Registro Oficial N° 305 -- Miércoles 6 de agosto de 2014* . Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente.
- MAE. (2015). *MINISTERIO DEL AMBIENTE*.

- Mays, L. (2010). *Water Resources Engineering*. Arizona: John Wiley y Sons , Inc.
- McCormac, J. (2010). *Topografía*. México D.F: Editorial Limuisa , S.A de C.V.
- Mera, J., & Vasquez, D. (2017). *Determinacion de la calidad de agua para riego en el sistema de conducción, Santa Ana*. Portoviejo: Universidad Técnica de Manabí.
- Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108. (2011). *Norma Tecnica Ecuatoriana*. Quito: INEN.
- Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2005). *Contaminación Ambiental: Una visión desde la Química*. Madrid (España): Thomson Editoriales Spain Paraninfo.
- Pachas, R. (2009). *El levantamiento topografico: uso del GPS y Estacion total*. Trujillo-Venezuela: Núcleo Universitario Rafael Rangel. Universidad de Los Andes (ULA).
- Peña, J. (2005). Manual de Prácticas de topografía y cartografía. *Ingenierías*.
- Pérez , P. (2010). *Topografía*. Medellin: Instituto Tecnologico Metropolitano.
- Pérez, S. (Noviembre de 2012). Evalacion y analisis de la huella hidrica y agua virtual de la produccion agricola en el Ecuador. Zamorano, Honduras.
- Pons, J. (2015). *MANUAL DE TOPOGRAFÍA PRÁCTICA*. Madrid: BELLISCO. Ediciones Técnicas y Científicas.
- Proaño, V. (2004). *Determinación de las Aguas de Calidad de Riego*. Quito (Ecuador).
- Rincón , M., Vargas, W., & González, C. (2017). *TOPOGRAFÍA Conceptos y Aplicaciones*. Bogotá: Ecoe Ediciones Ltda.
- Romero, J. (1999). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: Teoría y Principios de Diseño*. Bogotá - Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Russell, D. (2012). *Tratamiento de aguas residuales*. España: Editorial Reverté.
- SENAGUA. (2010). *Secretaría Nacional del Agua*. Obtenido de Informe de Gestion 2008 - 2010. Una gestion diferente de los Recursos Hidricos.
- SENAGUA. (2011). *Políticas para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos Informe de Gestión 2010-2011*. SENAGUA. Quito: Presentacion.
- SENAGUA. (2012). *Informe de Gestión*. Obtenido de SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA.

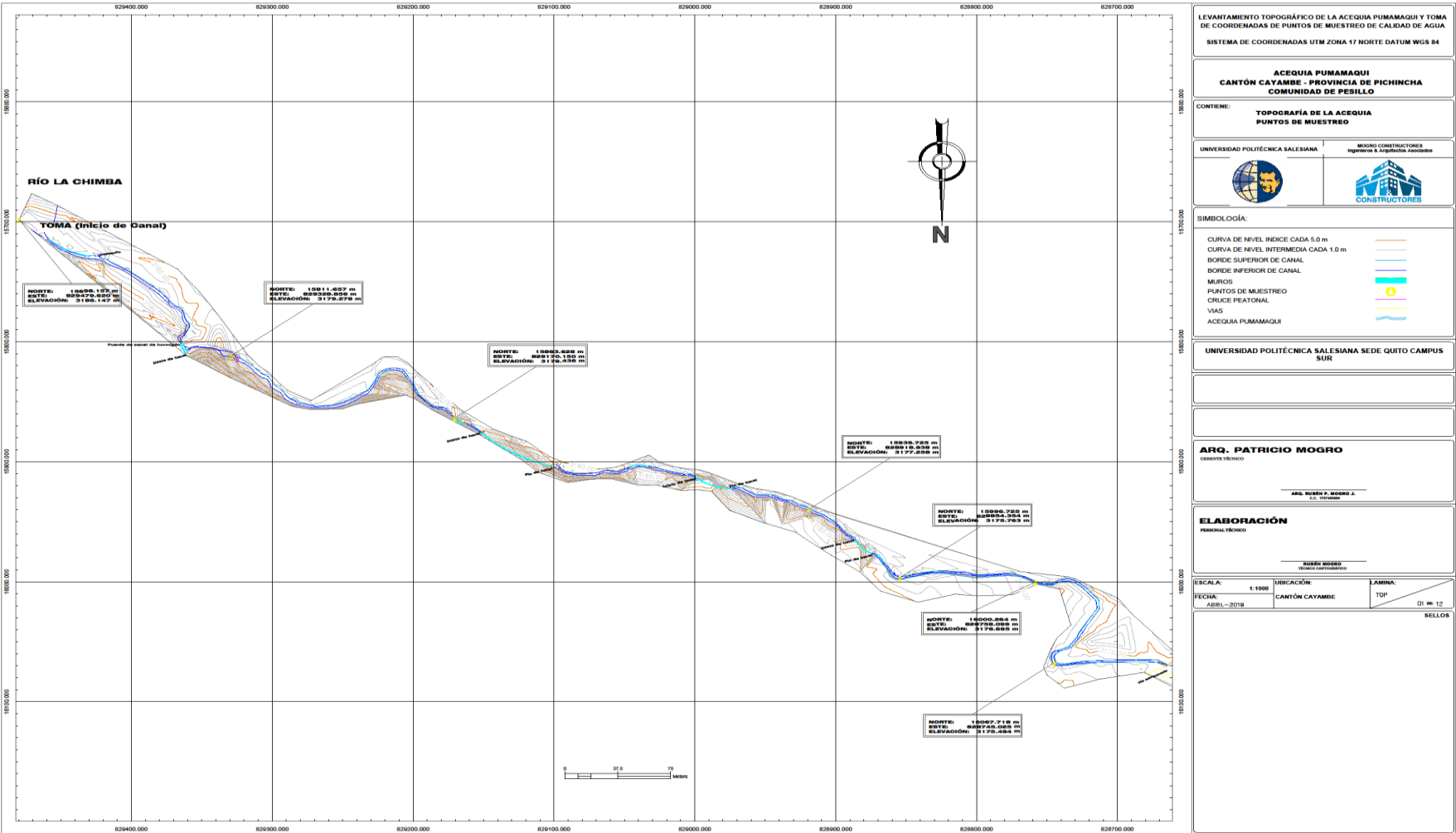
- Severiche, C., Acevedo, R., & Jaimes, J. (2015). *calidad de agua para consumo humano: Municipio de Turbaco-Bolivar, Norte de Colombia* . Colombia : CSS Consultoría, Interventoría & Formación SAS.
- Sierra, C. (2013). *CALIDAD DE AGUA - Evaluación y diagnóstico* -. Medellin, Colombia: Ediciones de la U.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. (2015). *Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar.-2003*. Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente.
- Torres , Á., & Villate , E. (2013). *TOPOGRAFÍA*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- UNESCO. (2008). *La calidad del agua y los objetivos de Desarrollo del Milenio*. Obtenido de Water Quality for Ecosystems and Human Health: www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml.
- Vargas , E. (2010). *Cartilla de Topografía* . Colombia : Universidad Piloto de Colombia.
- Villa, M. (2011). *Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río Yacuambi. Propuestas de tratamiento y control de la contaminación*. Cádiz - Ezpaña.
- Wolf, P., & Ghilani, C. (2014). *Topografía*. Mexico D.F: Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V.
- Wolf, P., & Ghilani, C. (2016). *Topografía*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V.
- World Health Organization. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Malta: World Health.

8. ANEXOS

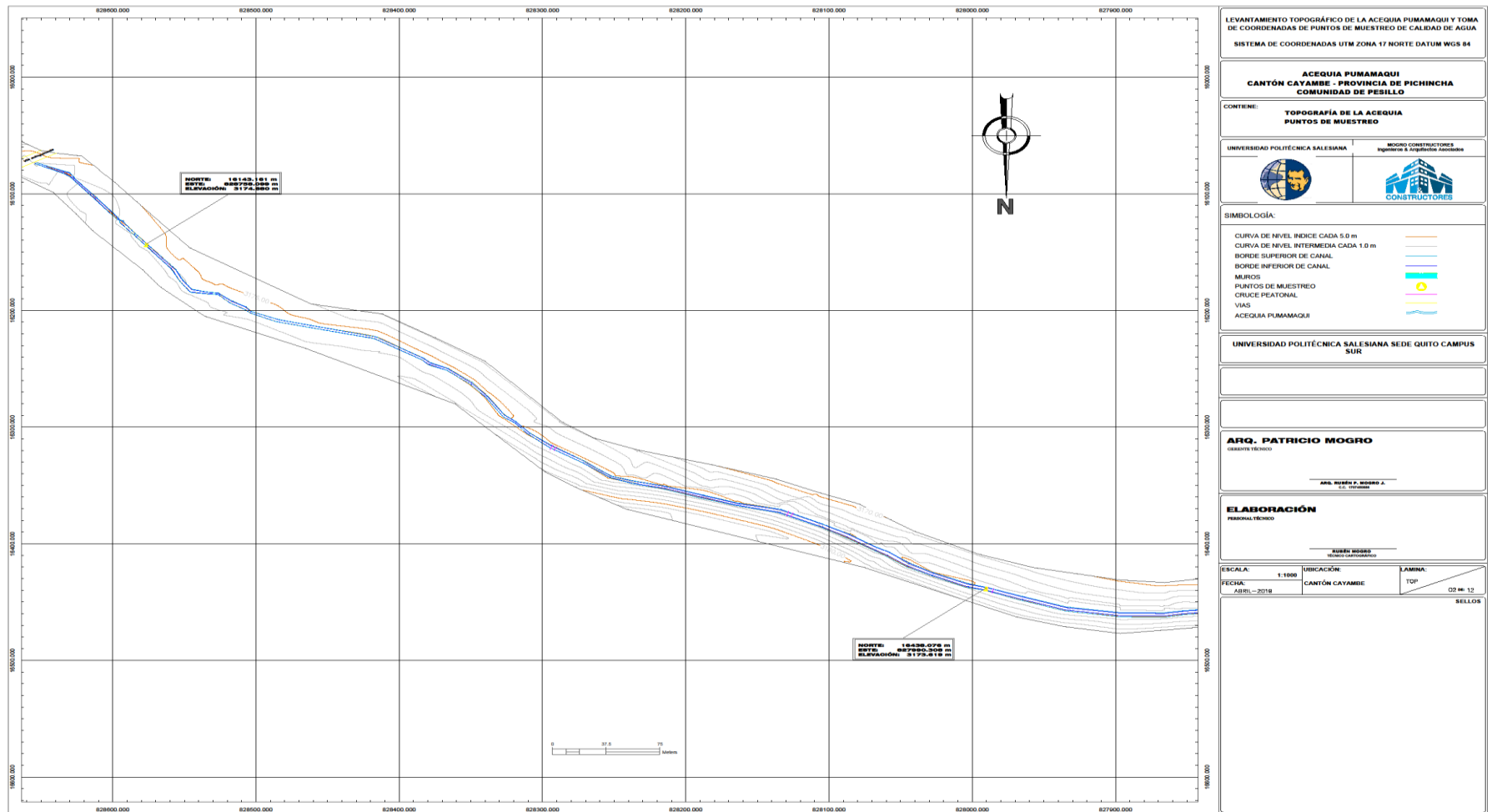
Anexo 1. Tabla general de resultados obtenidos.

Muestra	temperatura in situ	Potencial de hidrogeno in situ	Turbidez	conductividad eléctrica	oxígeno disuelto	solidos totales	DBO5	DQO	coliformes fecales
	°C	(pH)	(NTU/UNF)	(mS/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mgO2/L)	(mgO2/L)	(NMP/100ml)
001	14	8,5	1,42	0,119	4,38	260	<5	8	1,1x10 ²
002	13,7	8,47	1,1	0,118	4,13	140	<5	12	5,4x10 ²
003	13,6	8,57	1,1	0,116	4,17	180	<5	16	5,4x10 ²
004	12,8	8,48	1,23	0,112	4,19	100	<5	13	3,5x10 ²
005	13	8,58	1,56	0,114	4,24	190	<5	11	3,5x10 ²
006	13	8,51	2,01	0,11	4,28	150	<5	<8	1,7x10 ²
007	13,5	8,53	1,99	0,114	4,4	230	<5	14	1,7x10 ²
008	13,5	8,65	2,2	0,111	4,46	100	<5	<8	1,3x10 ³
009	13,4	8,64	3,2	0,111	4,39	4880	<5	12	3,5x10 ²
010	13,13	8,56	1,39	0,12	4,29	4840	<5	10	5,4x10 ²
011	14,2	8,52	1,14	0,106	4,63	30	<5	27	2,8x10 ²
012	14,2	8,44	2,39	0,113	4,53	30	<5	<8	9,2x10 ²
013	13,8	8,2	1,19	0,113	4,54	150	<5	<8	5,4x10 ⁹
014	14,2	8,2	1,51	0,112	4,24	210	<5	8	3,5x10 ⁹
015	13,6	8,46	2,87	0,108	4,32	470	<5	<8	5,4x10 ¹⁰
016	12,7	8,29	3,1	0,112	4,05	130	<5	13	2,4x10 ¹⁰

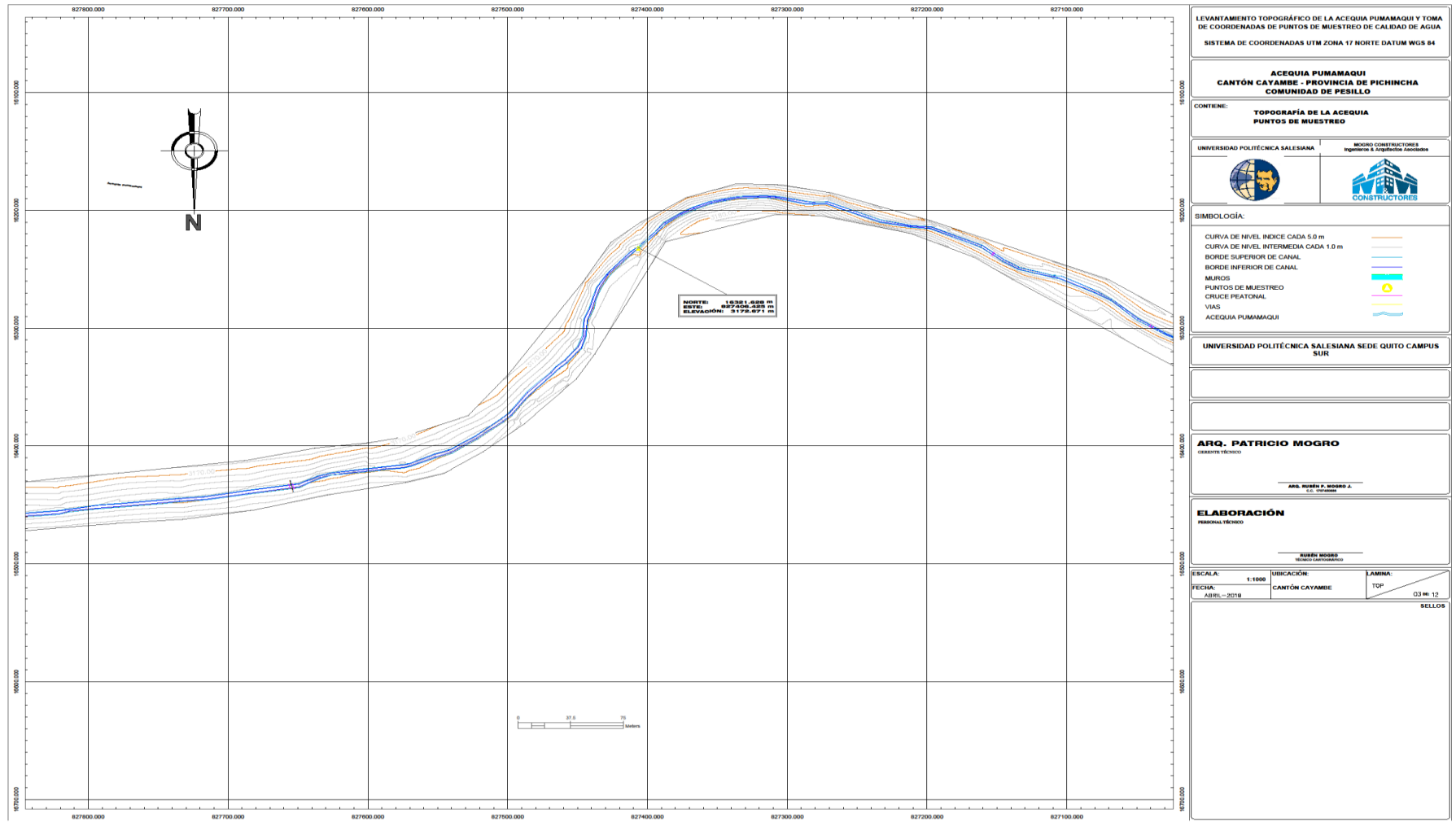
Anexo 2. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui de los puntos de muestreo del M001 al M007.



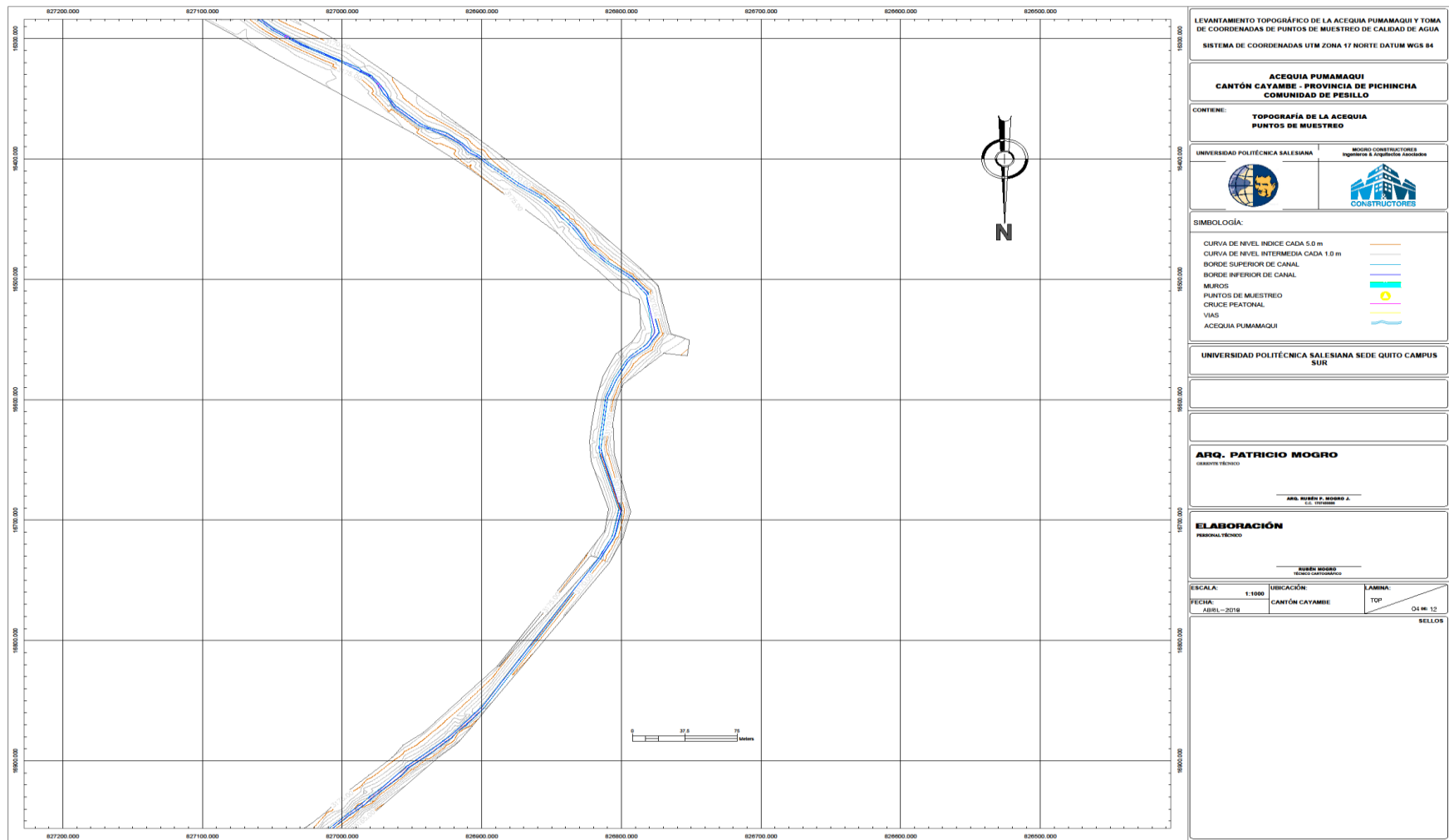
Anexo 3. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui de los puntos de muestreo del M008 al M009.



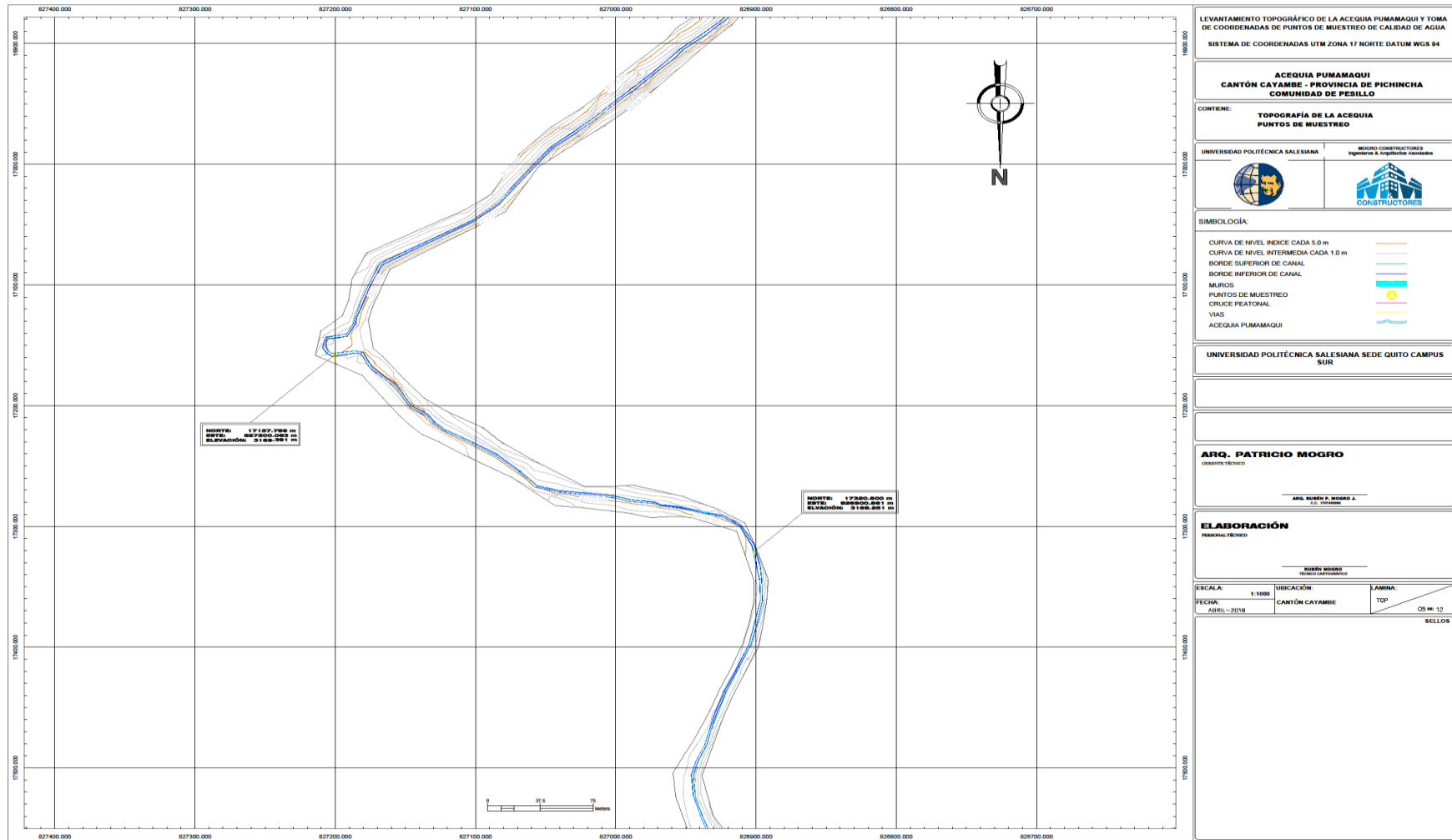
Anexo 4. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui del punto de muestreo M010.



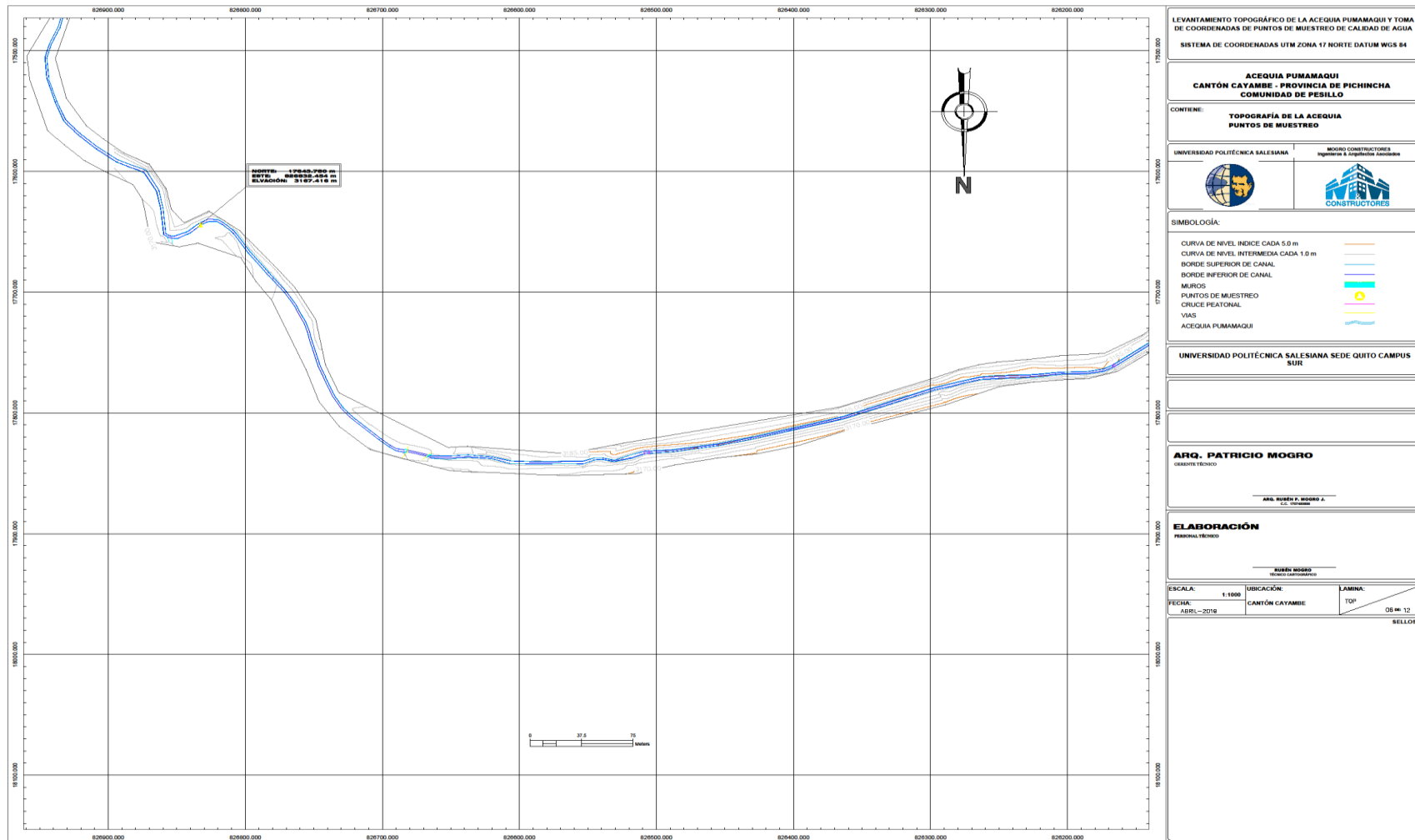
Anexo 5. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui.



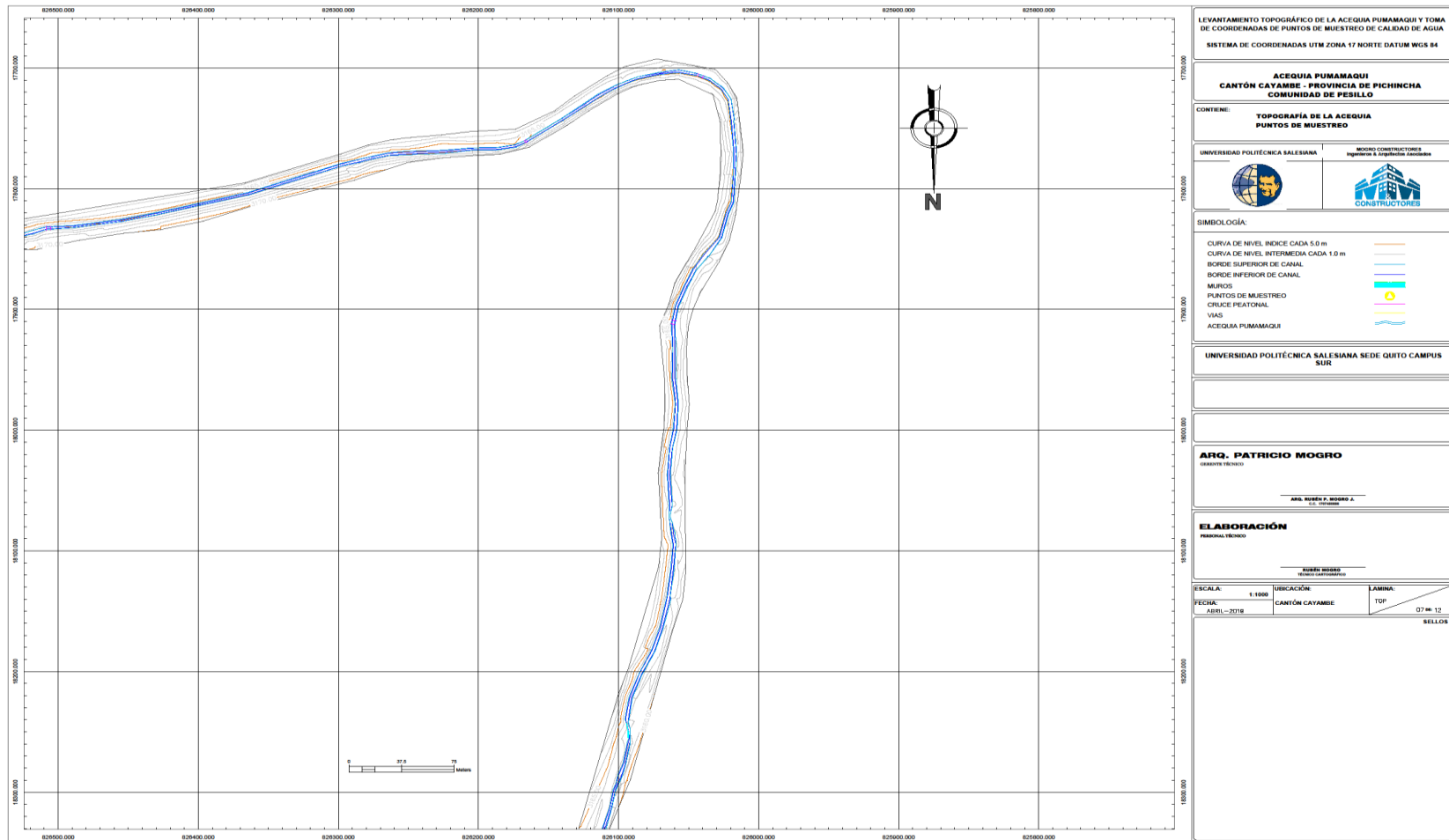
Anexo 6. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui de los puntos de muestreo del M011 al M012.



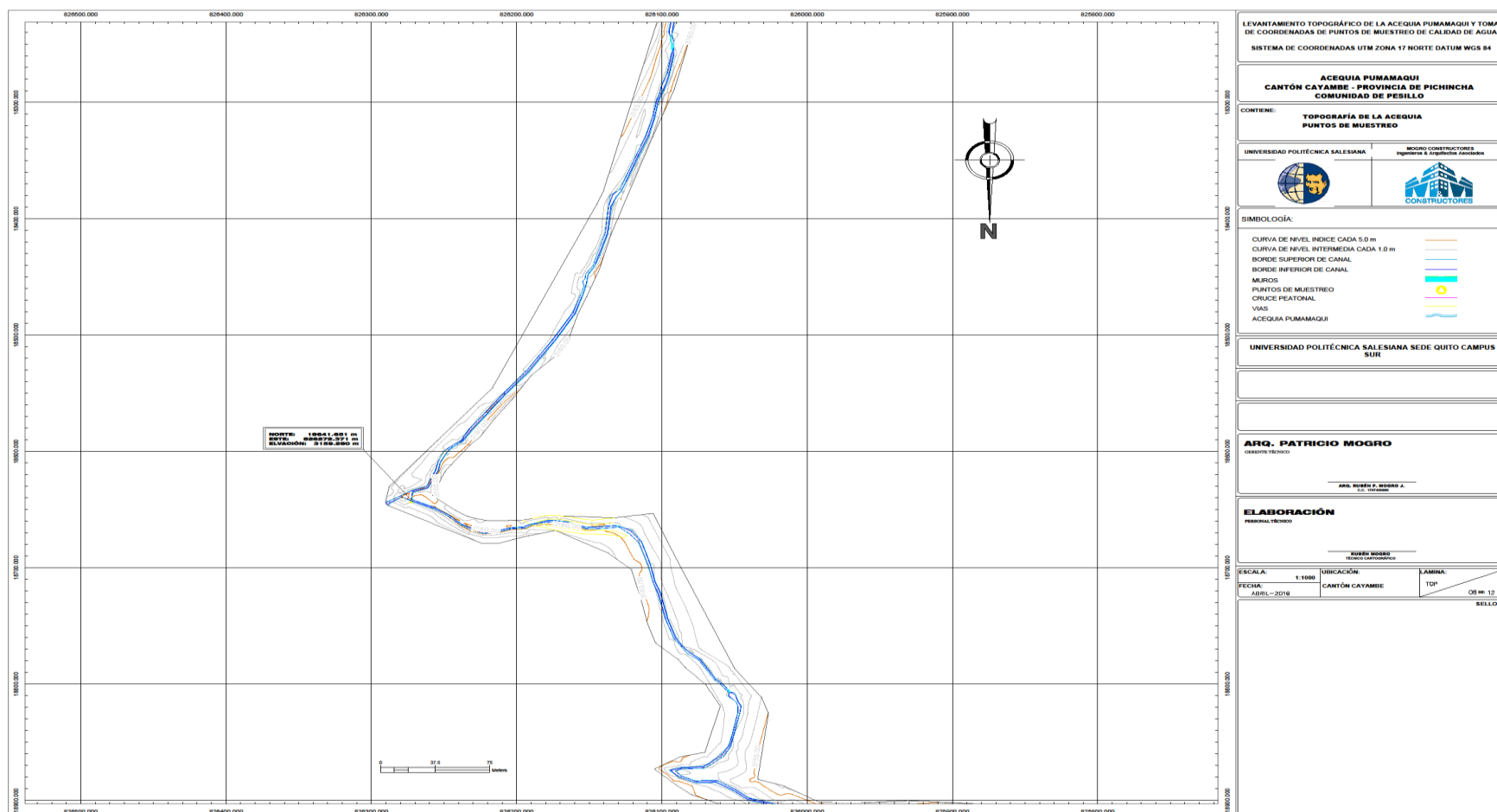
Anexo 7. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui del punto de muestreo M013.



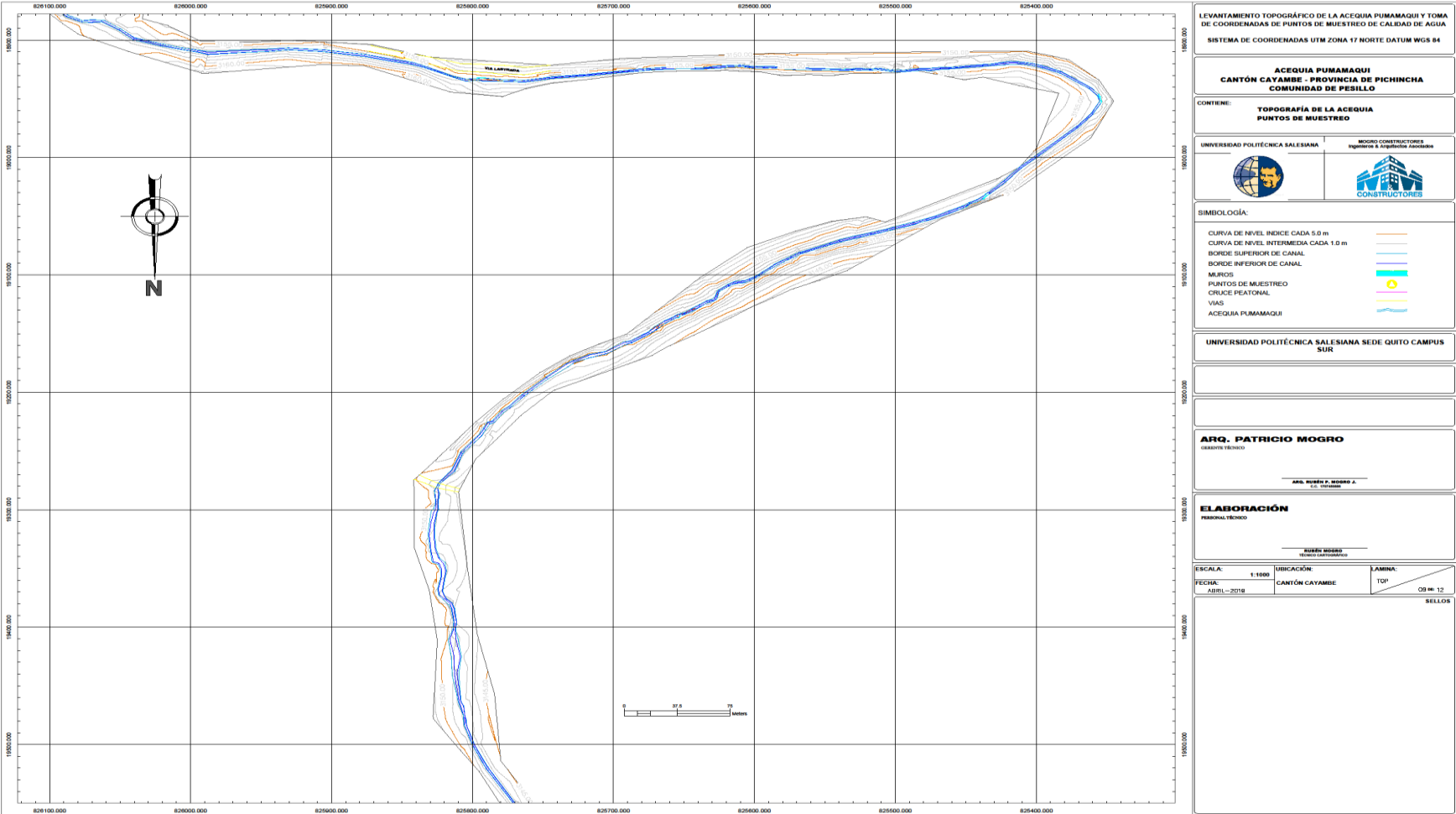
Anexo 8. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui.



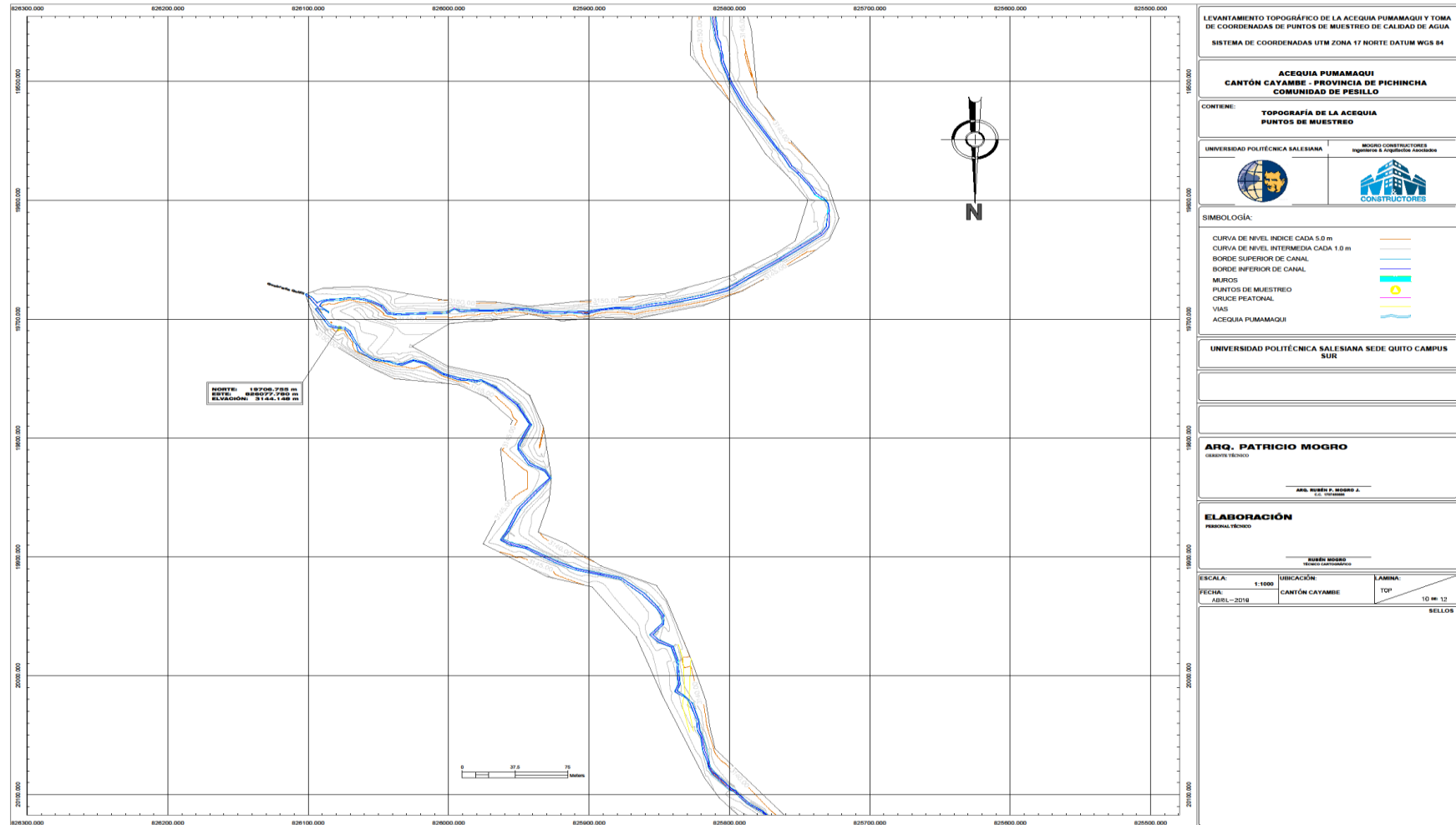
Anexo 9. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui del punto de muestreo M014.



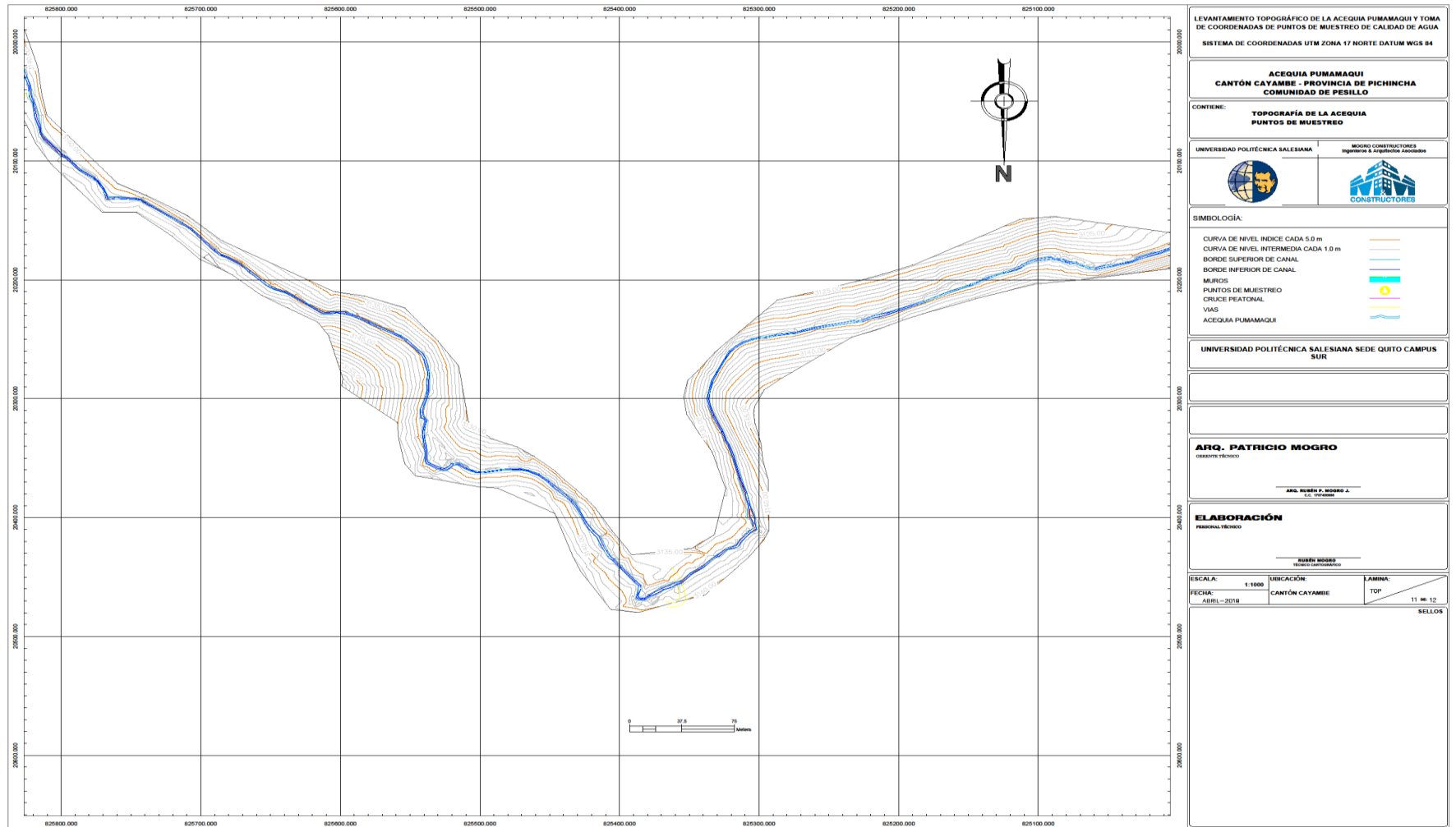
Anexo 10. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui.



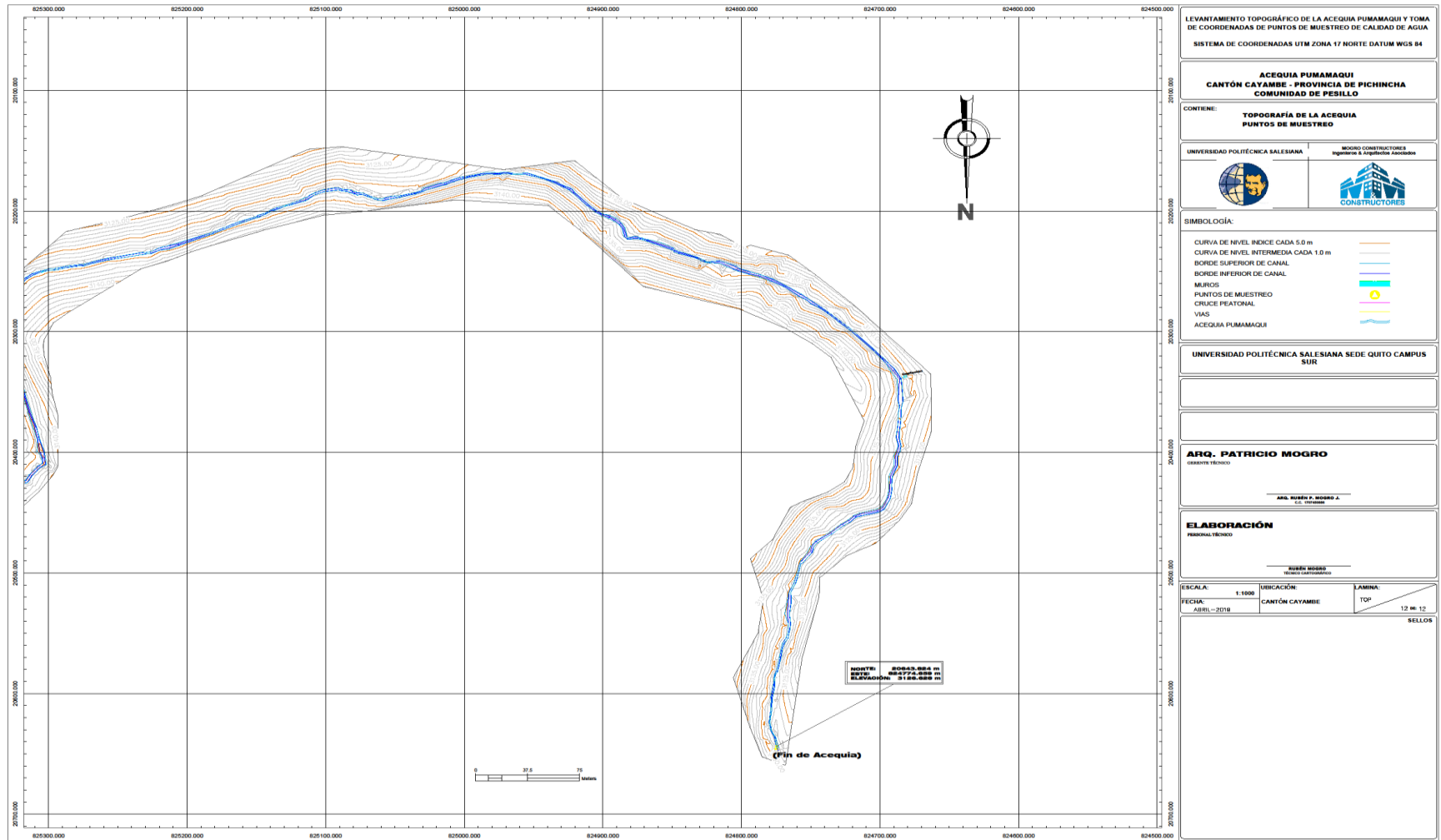
Anexo 11. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui del punto de muestreo M015.



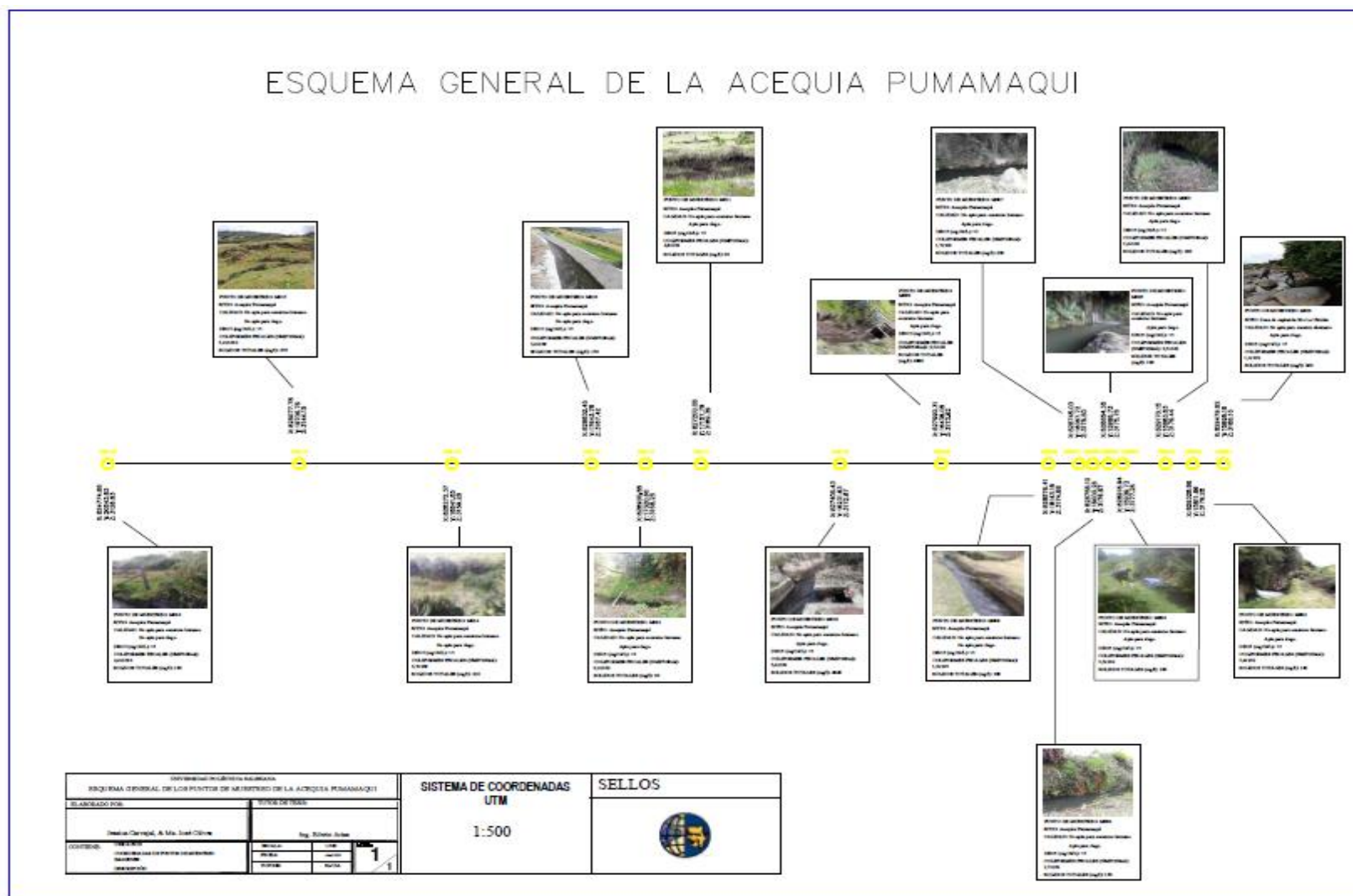
Anexo 12. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui.



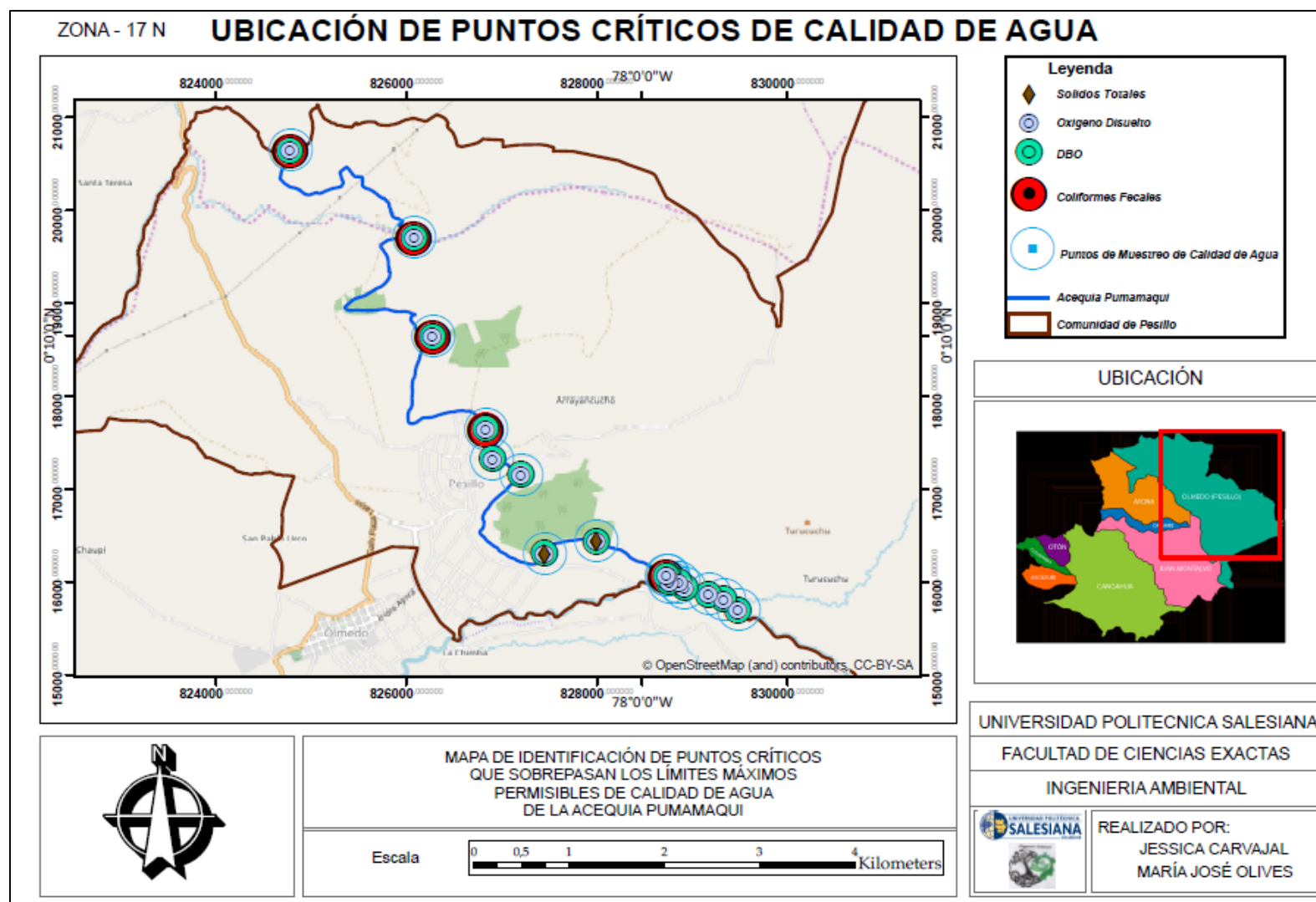
Anexo 13. Levantamiento topográfico Acequia Pumamaqui del punto de muestreo M016.



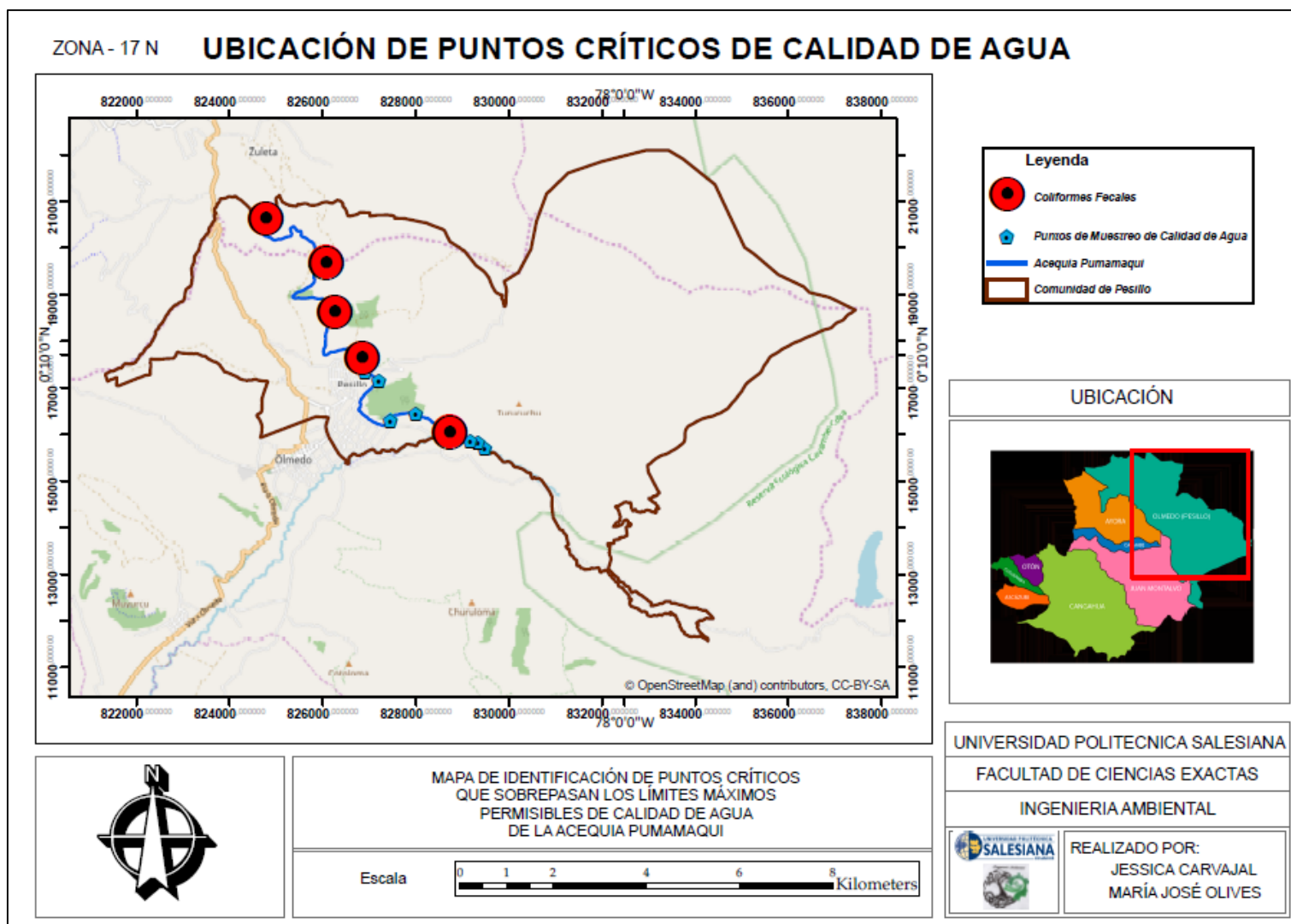
Anexo 14. Esquema General de la Acequia Pumamaqui.



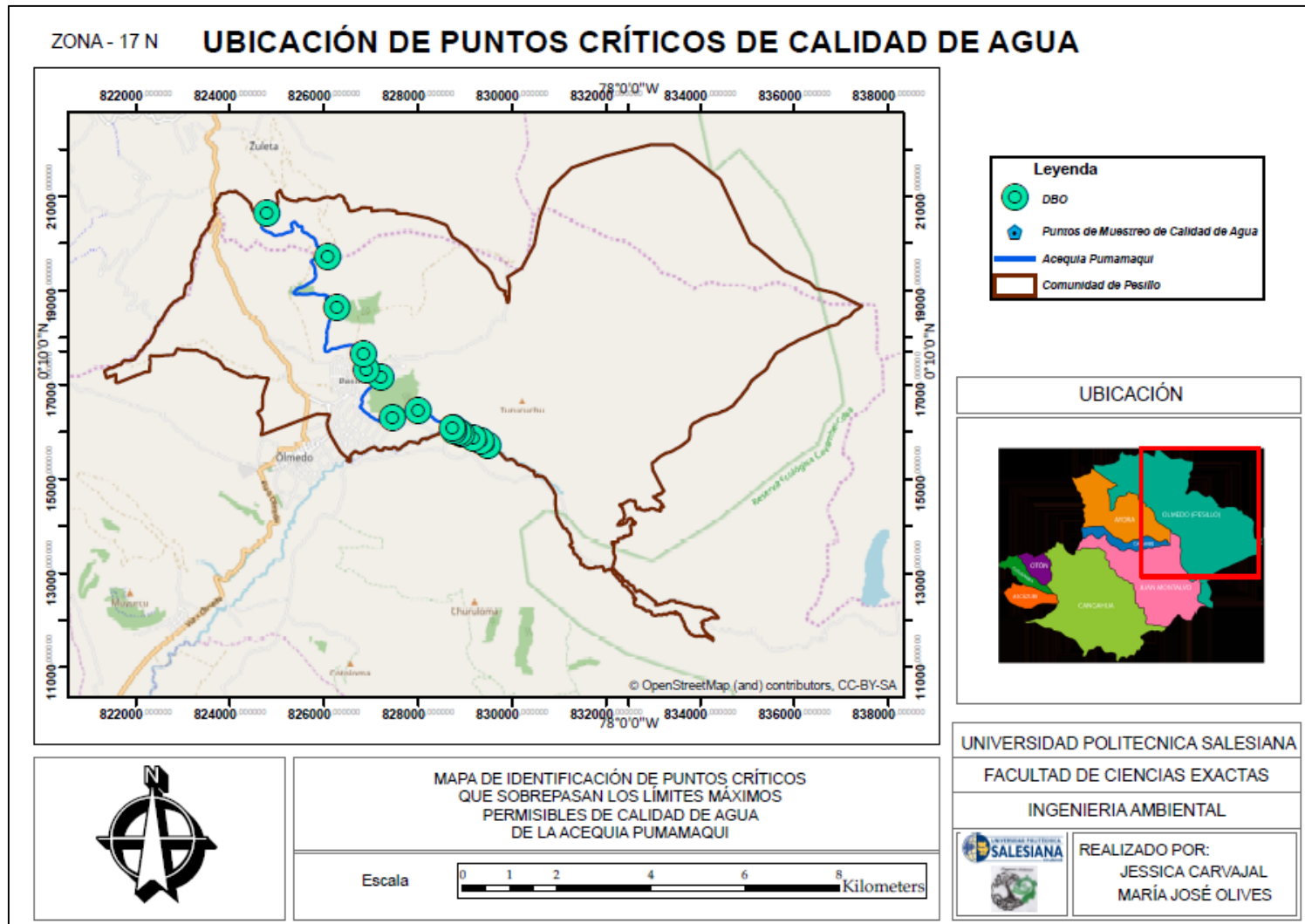
Anexo 15. Mapa de identificación de puntos críticos que sobrepasan los límites máximos permisibles de calidad de agua de la acequia Pumamaqui.



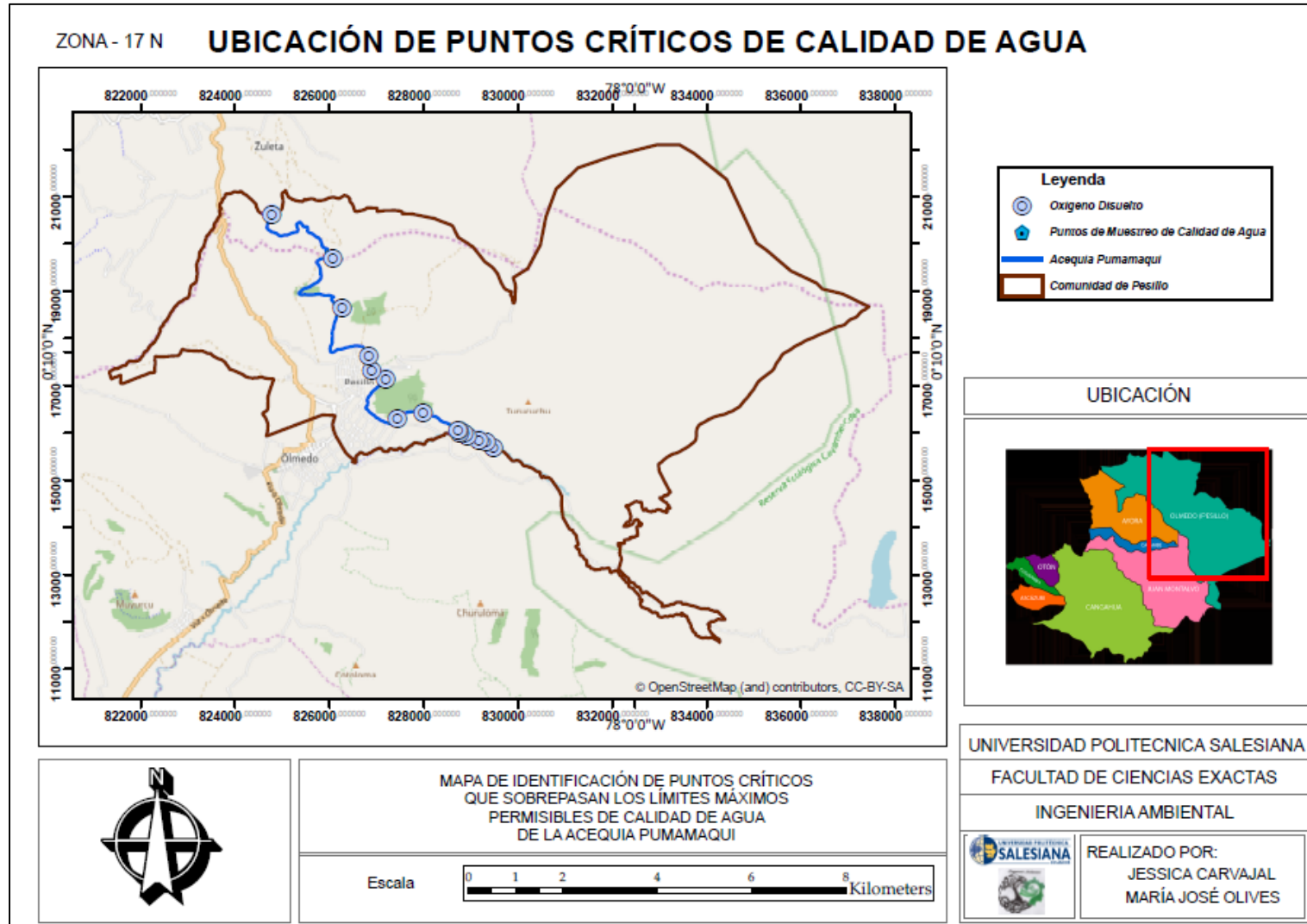
Anexo 16. Mapa de identificación de los puntos críticos de Coliformes Fecales en la acequia Pumamaqui.



Anexo 17. Mapa de identificación de los puntos críticos de DBO5 en la acequia Pumamaqui.



Anexo 18. Mapa de identificación de los puntos críticos de Oxígeno Disuelto en la acequia Pumamaqui.



Anexo 19. Mapa de identificación de los puntos críticos de Sólidos Totales en la acequia Pumamaqui.

